

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



Estudio del comportamiento reológico de pasta enriquecida en fibra dietética y con incorporación de hidrocoloides

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIÈNCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNO/A: Alba Hernández Beltrán

TUTOR/A: Eugenia Martín Esparza

COTUTOR/A: Ana María Albors Sorolla

Curso Académico: 2014/2015

VALENCIA, Julio de 2015



TÍTULO: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE PASTA ENRIQUECIDA EN FIBRA DIETÉTICA Y CON INCORPORACIÓN DE HIDROCOLOIDES

RESUMEN

En el siguiente proyecto se ha querido estudiar el efecto de sustituir ciertas cantidades de sémola de trigo duro por harina de chufa sobre el comportamiento mecánico y reológico de la masa (pasta cruda) como de la pasta cocida. También se ha llevado a cabo el estudio de la adición de unos hidrocoloides seleccionados, como son la carboximetilcelulosa, la goma xantana y la goma garrofín, sobre las mismas propiedades analizadas para el primer caso. En la primera etapa del trabajo, se llevaron a cabo cinco formulaciones de pasta con el 0, 10, 20, 30 y 40% de sustitución de sémola. La formulación con el 0% de sustitución, que correspondería a un 100% de sémola de trigo duro, se realizó a modo de control. Para la segunda parte del trabajo, se seleccionó un nivel de sustitución de sémola por harina de chufa de un 40% para que las formulaciones pudieran catalogarse como “fuente de fibra”, según marca la legislación vigente, y se fue variando la cantidad de hidrocoloides empleada para cada formulación. La cantidad y la combinación de estas gomas se seleccionaron a partir de un análisis de superficie de respuesta en base a un diseño experimental de Box-Behnken. Para elaborar las distintas formulaciones de pasta, se necesitó huevo líquido pasteurizado, en un porcentaje del 13%, y agua potable en un porcentaje del 16%. Estos valores se mantuvieron constantes para todas las formulaciones, tanto para las de sustitución como para las de adición de hidrocoloides. Los parámetros que se evaluaron, tanto en el caso de la pasta fresca como para la pasta cocida, son: actividad de agua (a_w), humedad (x_w), propiedades mecánicas mediante un análisis del perfil de textura (dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y gomosidad) y propiedades reológicas dinámicas mediante un test oscilatorio (G' , G'' y $\tan \delta$). Se ha de mencionar que, debido a problemas de disponibilidad del reómetro, las medidas de reología para la pasta cocida no se pudieron llevar a cabo, ni tampoco para los niveles de sustitución del 10, 20 y 30%. Para todas las formulaciones ensayadas, se obtuvo un módulo de almacenamiento G' mayor al módulo de pérdidas, lo que se corresponde con una masa con un comportamiento elástico tipo gel bien estructurado. El análisis de superficie de respuesta evidenció el efecto significativo que tienen la goma xantana o la combinación de carboximetilcelulosa y goma garrofín sobre la gomosidad de la masa. Si se utiliza un 1,2% de estas gomas, es posible reproducir la función del gluten sobre la estructura de la pasta, obteniendo valores del módulo de elasticidad superiores en la pasta elaborada con sustitución de un 40% por harina de chufa a la formulación control (100% sémola).

Palabras clave: pasta fresca, harina de chufa, sémola de trigo duro, hidrocoloides, textura, reología.

Autor: Alba Hernández Beltrán
Tutor/a: M^a Eugenia Martín Esparza
Cotutor/a: Ana María Albors Sorolla
Valencia, Julio de 2015

TITLE: STUDY OF THE RHEOLOGICAL BEHAVIOUR OF DIETARY FIBER ENRICHED PASTA AND WITH INCORPORATION OF HIDROCOLLOIDS

ABSTRACT

The purpose of this dissertation was to study the effect of replacing certain quantities of durum wheat semolina by tigernut flour on the rheological and mechanical properties for both dough and cooked pasta. It was also assessed the influence of hydrocolloids' addition, such as carboxymethylcellulose, xanthan gum and locust bean gum, on these properties for 40% replacement level by tigernut flour. In the first part of the work, five pasta formulations were prepared with 0, 10, 20, 30 and 40% substitution levels of wheat semolina. The formulation with 0% substitution, corresponding to 100% of durum wheat semolina, was conducted as a control. For the second part of the work, a 40% substitution level was selected and the amount of hydrocolloids used varied in order to obtain a pasta product classified "source of fiber", with good mechanical behavior. Optimization of hydrocolloids concentration was performed by using the response surface method based on a Box-Behnken experimental design. For preparing the different dough formulations, a 13% (w/w) pasteurized liquid egg and 16% (w/w) water was used. Evaluated parameters, for both dough and cooked pasta, were: water activity (a_w), water content (x_w), mechanical properties using a texture profile analysis (hardness, adhesiveness, elasticity, cohesiveness, gumminess and chewiness) and dynamic rheological properties obtained by an oscillatory test (G' , G'' and $\tan \delta$). It should be mentioned that, due to problems of unavailability of the rheometer, the rheological measurements for cooked pasta could not be performed, neither for the formulations with 10, 20 and 30% substitution of wheat semolina by tigernut flour. For all tested formulations, the storage modulus (G') was much higher than the loss modulus (G''), which corresponds to a pasta dough with an elastic gel-like behavior. The response surface analysis showed the significant effect that xanthan gum or the carboxymethylcellulose-locust bean gum combination have on dough gumminess. If a 1,2% of these gums is used, it is possible to reproduce the gluten function on the dough structure, obtaining higher elasticity modulus values in the pasta made with 40% substitution level by tigernut flour than in control formulation (100% semolina).

Keywords: fresh pasta, tigernut flour, durum wheat semolina, hydrocolloids, texture, rheology.

Autor: Alba Hernández Beltrán

Tutor/a: M^a Eugenia Martín Esparza

Cotutor/a: Ana María Albors Sorolla

Valencia, Julio de 2015

ÍNDICE

I. Introducción.....	1
I.1. Definición de pasta alimenticia.....	1
I.2. Clasificación de los tipos de pasta alimenticia.....	1
I.3. Materias primas empleadas en las formulaciones de pasta.....	2
I.3.1. Sémola de trigo duro (<i>Triticum durum</i>).....	2
I.3.2. Harina de chufa (<i>Cyperus esculentus L.</i>).....	3
I.3.3. Hidrocoloides.....	4
I.3.3.1. Goma de garrofín (E-410).....	4
I.3.3.2. Goma xantana (E-415).....	4
I.3.3.3. Carboximetilcelulosa (E-466).....	4
I.4. Composición y valor nutricional de las pastas alimenticias.....	5
I.5. Parámetros de calidad de la pasta alimenticia.....	6
I.6. Papel de la fibra en la dieta. Justificación del trabajo.....	7
II. Objetivos y Plan de Trabajo.....	10
II.1. Objetivo general.....	10
II.2. Objetivos específicos.....	10
II.3. Plan de trabajo.....	10
III. Material y métodos.....	12
III.1. Materias primas.....	12
III.2. Hidrocoloides.....	12
III.3. Diseño experimental.....	13
III.4. Elaboración de la pasta.....	14
III.5. Caracterización de la pasta. Evaluación de la calidad.....	17
III.5.1. Humedad.....	17
III.5.2. Actividad de agua.....	17
III.5.3. Análisis del perfil de textura (TPA).....	17
III.5.4. Propiedades reológicas dinámicas: Test oscilatorio.....	18
III.5.5. Análisis del tamaño de partícula.....	19
III.5.6. Análisis de datos.....	19
IV. Resultados y discusión de los resultados.....	20
IV.1. Análisis de la sustitución de sémola por harina de chufa.....	20
IV.1.1. Análisis del tamaño de partícula.....	20
IV.1.2. Propiedades reológicas dinámicas.....	21
IV.1.3. Análisis del perfil de textura.....	22
IV.2. Optimización de la formulación “fuente de fibra” con incorporación de hidrocoloides.....	23
V. Conclusiones.....	29
VI. Bibliografía o Referencias Bibliográficas.....	30
VII. Anexos.....	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las principales materias primas (Fuente: proveedores).....	12
Tabla 2. Composición de los hidrocoloides utilizados (Fuente: EPSA S.A, 2015).....	13
Tabla 3. Composición de las formulaciones con distinto % de sustitución de TD por CH (% en peso de pasta fresca).....	13
Tabla 4. Composición de las distintas formulaciones en % en peso (100 g pasta).....	14
Tabla 5. Valores de tamaño medio de partícula ($d_{4,3}$), 90 y 50% de partículas con un tamaño determinado y número span. Valores medios y (desviación estándar).....	21
Tabla 6. Valores medios (desviaciones estándar) de los parámetros reológicos obtenidos para la pasta fresca obtenida con 100% de sémola (0) y con un 40% de sustitución por harina de chufa (40).....	22
Tabla 7. Valores medios (desviaciones estándar) de los parámetros mecánicos obtenidos en el ensayo TPA para la pasta fresca.....	22
Tabla 8. Valores medios (desviaciones estándar) de los parámetros mecánicos obtenidos en el ensayo TPA para la pasta cocida.....	23
Tabla 9. Valores de estimación o constante y los parámetros β obtenidos del ajuste a los modelos de regresión lineal múltiple para describir la relación entre 10 variables independientes y los parámetros de las propiedades mecánicas y fundamentales, la actividad de agua y la humedad de la pasta cruda.....	24
Tabla 10. Parámetros de la ley de potencia para muestras crudas con % de sustitución y con incorporación de hidrocoloides describiendo la dependencia de los módulos con la frecuencia angular.....	27
Tabla 11. Valores de estimación o constante y los parámetros β obtenidos del ajuste a los modelos de regresión lineal múltiple para describir la relación entre 10 variables independientes y los parámetros de TPA, la actividad de agua y la humedad para la pasta cocida.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de la elaboración de la pasta.....	16
Figura 2. Curva generalizada del Análisis de Perfil de Textura (TPA).....	18
Figura 3. Distribución del tamaño de partícula para las formulaciones con niveles de sustitución de sémola por harina de chufa del 0, 10, 20, 30, 40 y 100%.....	20
Figura 4. Espectro mecánico de las formulaciones de 0 y 40% de sustitución de harina de chufa.....	21
Figuras 5a-5e. Superficie de respuesta para los parámetros gomosidad (G), dureza (D), G' y cohesividad (C) en pasta fresca.....	25
Figura 6. Representación del módulo G' para las formulaciones de masa (pasta cruda) elaboradas con el 0 y 40% de sustitución de sémola por harina de chufa (sin gomas) y con incorporación del 0,4, 1,2 y 2% de hidrocoloides (para un nivel de sustitución del 40%).....	26
Figura 7. Representación del módulo G'' para las formulaciones de masa (pasta cruda) elaboradas con el 0 y 40% de sustitución de sémola por harina de chufa (sin gomas) y con incorporación del 0,4, 1,2 y 2% de hidrocoloides (para un nivel de sustitución del 40%).....	27

I. INTRODUCCIÓN



I. INTRODUCCIÓN

I.1. DEFINICIÓN DE PASTA ALIMENTICIA

Según el Decreto 2181/1975, de 12 de septiembre de 1975, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de pastas alimenticias, se define con el nombre de pasta alimenticia al producto obtenido por la desecación de masas no fermentadas de sémolas, semolinas o harinas de trigo duro, semiduro o blando o sus mezclas y agua potable. Este documento tiene sus propias modificaciones, tales como el Real Decreto 177/01/1976 de 2/7/1976 (BOE 28/07/1976); Real Decreto 2811/1983 de 13/10/1983 (BOE 11/11/1983); Real Decreto 1093/1987 de 19/6/1987 (BOE 8/09/1987) y Real Decreto 1534/1991 de 18/10/1991 (BOE 30/10/1991).

En el Real Decreto 16/12/1975 se regula la gama y capacidad nominal de productos envasados (BOE 12/12/1989). El etiquetado presenta en el Real Decreto 2484/1967 de 21/09/1967 (BOE 17/10/1967), la marca y características del producto como también distintas tipologías dependiendo del tipo de pasta: para pastas alimenticias simples se etiqueta como “Pastas alimenticias”, mientras que para pasta rellenas se describirá su composición y su fabricante (BOE 13/9/1975) sin ninguna modificación en relación a éste.

I.2. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE PASTA ALIMENTICIA

En la actualidad, la normativa vigente sobre la tipología de pastas viene definida en el Decreto 2181/1975 del 12 de septiembre, publicado en el BOE el 13 de septiembre de 1975, el cual consta de los siguientes apartados:

Pastas alimenticias simples. Son denominadas pastas simples al ser elaboradas únicamente de sémolas, semolinas o harinas procedentes de trigo duro, semiduro, blando o mezclas entre estos. La calidad de la pasta dependerá de la harina con la que haya sido elaborada, siendo la de mayor calidad, la que contenga exclusivamente sémola o semolina de trigo duro.

Pastas alimenticias compuesta. Pastas en las que durante el proceso de elaboración se les incorpora alguna o varias sustancias, como puede ser; gluten, soja, huevos, leche, hortalizas, verduras y leguminosas. Estas sustancias pueden encontrarse en forma natural, desecadas o conservadas, en forma de jugos o extractos. Podrán incorporarse otras sustancias alimenticias siempre y cuando sean autorizadas por la Dirección General de Sanidad.

Pastas alimenticias rellenas. Hace referencia a preparados formados tanto por pastas simples como pastas compuestas que contienen en su interior rellenos como carne animal de abasto, grasas animales y vegetales, productos de pesca, pan rallado, verduras, hortalizas, huevos y agentes aromáticos autorizados como otras sustancias autorizadas teniendo en cuenta la Dirección General de Sanidad. Estas pastas tienen formas diversas como empanadillas, cilindros, sándwiches, etcétera.

Pastas alimenticias frescas. Se denominan pastas alimenticias frescas cualquiera de las elaboradas de acuerdo con lo establecido en los epígrafes anteriores, pero que no hayan sufrido proceso de desecación. Según el Real Decreto 367/2005 de 8/04/2005 (BOE 27/4/2005), las pastas frescas se consideran *productos de alimentación frescos y perecederos*, (artículo 2.3.) por incluirse en el grupo de productos naturales o preparados que por sus propiedades conservan sus cualidades aptas tanto para el consumo como para su comercialización durante un plazo

máximo de 30 días, necesitando temperaturas reguladas de comercialización y de transporte. Por ello, será obligatorio incluir en el etiquetado de las pastas frescas, además de la fecha de fabricación y el periodo máximo de consumo, la mención de “conservación en frío”, ya sean simples, compuestas o rellenas (Decreto 2181/1975, BOE 1983/29110).

Las pastas alimenticias frescas, deben reunir las siguientes características (Real Decreto 1534/1991):

- Humedad, como máximo del 30% y como mínimo del 22%
- La acidez, expresada en grados y referida a sustancia seca, no será superior a 6 en las pastas simples y compuestas, y 7 en las rellenas.
- Las simples cumplirán los límites de cenizas y proteínas establecidos para las secas.

En cuanto a las formas y tamaños que se puede dar a la pasta alimenticia, los tenemos indicados en el Decreto 2181/1975 mencionado anteriormente y son las siguientes:

Pastas roscadas. Son aquellas que han sido fabricadas mediante extrusión a través de en hileras o por laminación. Se presentan con forma circular (como los fideos o espaguetis) o rectangular (como los tallarines).

Pastas largas. Han sido sometidas a un proceso de extrusión y secado en tiras rectas y sueltas con un mínimo de 20 mm de longitud, presentando forma circular (espaguetis), rectangular (tallarines) o anular (macarrones).

Pastas cortadas. Formadas mediante extrusión y cortadas en distintos formatos, de longitud inferior a 100 mm.

Pastas laminadas. Sometidas a un laminado y corte posterior con distintas formas.

I.3. MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS EN LAS FORMULACIONES DE PASTA

I.3.1. SÉMOLA DE TRIGO DURO (*TRITICUM DURUM*)

Para la elaboración de de productos derivados de cereales, destacan por su importancia el trigo blando o *Triticum vulgare*, denominado harinoso y utilizado en la industria panadera, y el trigo duro o *Triticum durum*, denominado vítreo, utilizado para la elaboración de pastas. La gran diferencia entre estas dos variedades es que el trigo duro presenta un comportamiento más favorable en el proceso de la molienda debido a la composición del endospermo y a su estructura resistente.

La semolina durum, producto granular de color amarillo oscuro y estructura vítrea proveniente de la molienda del endospermo del grano de trigo durum, es la materia prima ideal para la fabricación de pasta (Hoseney, 1991).

Las sémolas industriales se clasifican en sémolas de mejor calidad para la elaboración de pastas alimenticias de calidad superior procedentes del trigo duro y cuyo tamaño de gránulo está comprendido entre 187 y 600 micras, con tolerancia del 10 por 100, y semolina de trigo duro, que es la sémola procedente del trigo duro, cuyo tamaño de gránulo no es inferior a 10 micras.

En el Decreto 1286/1984, del 23 de mayo (BOE 06/06/1984), también podemos consultar las características composicionales que deben cumplir las sémolas y semolinas, que son las siguientes:

- La humedad no excederá del 14,5 %.
- El contenido de cenizas sobre sustancia seca dependerá del tipo de sémola que se utilice: en la sémola industrial para la elaboración de pastas alimenticias de calidad superior tendrá un valor de 0,90 % como máximo, y en la semolina de trigo duro, un 1,10 % como máximo.
- El contenido en fibra será de 0,80 % como máximo. El contenido en proteínas, se distinguirá al igual que en las cenizas, teniendo un valor de 11 % como mínimo para la sémola industrial para la elaboración de pastas alimenticias de calidad superior, y un 11,5 % como mínimo para la semolina de trigo duro.
- Por último, la acidez grasa tendrá un valor máximo de 30 %, expresada en mg de potasa.

I.3.2. HARINA DE CHUFA (*CYPERUS ESCULENTUS L.*)

Según el Consejo Regulador de la Denominación de Origen de Valencia, la chufa es el tubérculo de la variedad-población de chufa *Cyperus sculentus L.var. sativus Boeck.*, de diversas formas y tamaños, de piel fina, con tejido suberificado y elevado contenido en grasa y azúcares. La así denominada Chufa de Valencia, es la chufa recolectada, lavada, secada, con una humedad comprendida entre 6,5 y 12% y seleccionada, con un calibre superior a 3 mm. Las chufas seleccionadas deben presentar un aspecto típico, estar sanas, enteras, limpias y exentas de alteraciones que puedan perjudicar su consumo y conservación.

En la chufa el componente mayoritario son los hidratos de carbono, seguidos de los lípidos y las proteínas. El mayor porcentaje entre los hidratos de carbono corresponde al almidón, que viene seguido de la sacarosa y pequeñas cantidades de α y β -glucosa, fructosa y galactosa (Morell y Barber, 1983). Su contenido en lípidos es elevado, incluso mayor que para los cacahuets y las nueces. Cabe destacar su riqueza en ácidos grasos insaturados y en especial el ácido oleico (Linssen et al., 1988, Coskumer et al., 2002). En el caso de las proteínas, la fracción mayoritaria es la albúmina y en menor proporción se encuentran las globulinas, glutelinas y prolaminas (Morell y Barber, 1983).

Para la harina de chufa, el componente mayoritario es la fibra (33%), seguida de los hidratos de carbono (30,55%) y los lípidos (25%). Tiene un alto aporte energético, 496,8 Kcal/100 g, y un bajo contenido en humedad, alrededor de un 4%. Esta harina tiene diversos beneficios para la salud, siendo un producto perfecto para celíacos al no contener gluten, para diabéticos ya que no requiere una adición extra de azúcar y para personas que requieran un aporte extra de fibra en su dieta. Ayuda a regular el tránsito intestinal y previene la aparición de colesterol malo y de los triglicéridos debido al aporte de ácido oleico además de ser muy beneficiosa para el sistema cardiocirculatorio (Portal Empresa Tigernuts, 2015).

Varios estudios realizados sobre los beneficios que tiene la fibra dietética de chufa están centrados en el tratamiento y la prevención de enfermedades como puede ser el cáncer de colon o los infartos debido a que su ingesta supone una menor cantidad en sangre de LDL colesterol, HDL colesterol y triglicéridos, (Anderson y Akanji, 1993) y (Trowel, 1975). Además la disminución en la diabetes y desórdenes gastrointestinales se produce en poblaciones que ingieren alimentos con alto contenido en fibra, (Ade-Omowaye et al., 2008 y Anderson et al., 1994).

I.3.3. HIDROCOLOIDES

Los hidrocoloides, comúnmente llamados gomas, son capaces de modificar la calidad general del producto alimenticio. Como los almidones, las gomas proporcionan viscosidad y textura, y se pueden utilizar por sí mismas o en combinación con almidón para crear ciertos efectos (Yu, 2003).

En este proyecto, los hidrocoloides empleados son la carboximetilcelulosa, la goma garrofín y la goma xantana. Estas gomas son usadas como estabilizantes en la tecnología alimentaria para proporcionar viscosidad, mejorar la firmeza y aumentar la velocidad de hidratación de la pasta durante la cocción (Yu and Ngadi, 2004). A continuación, se explica más detalladamente cada una de las gomas utilizadas.

I.3.3.1. GOMA DE GARROFÍN (E-410)

Se obtiene del endospermo triturado de la semilla del algarrobo. Se solubiliza totalmente a 80°C y actúa básicamente como espesante, aumentando la viscosidad de sistemas acuosos o lácticos. Es resistente a tratamientos a altas temperaturas y es poco sensible a los efectos mecánicos. Mantiene su estabilidad aplicada en productos que se almacenan a temperatura ambiente. Tiene efecto sinérgico con el κ -carragenato y con la goma xantana, formando geles elásticos y cohesionados. Este hidrocoloide se aplica en una amplia gama de sistemas en alimentación como estabilizante o espesante, y en algunos casos como modificador de textura (Cubero et al., 2002).

I.3.3.2. GOMA XANTANA (E-415)

Se obtiene de una polimerización por fermentación de la dextrosa por la bacteria *Xanthomonas campestris*. Es soluble en agua y leche en frío, teniendo un efecto espesante y alta pseudoplasticidad, es decir, que fluidifica al aplicarle una fuerza de cizalla. Presenta una gran estabilidad al pH y a la presencia de sales alcalinotérreas. Su viscosidad no está muy influenciada por la temperatura y es bastante estable a tratamientos mecánicos. Es sinérgica con la goma garrofín, nombrada anteriormente, y con la goma guar. Se aplica en aderezos para ensaladas, productos de pastelería y panadería, bebidas, alimentos enlatados, etc. (Cubero et al., 2002).

I.3.3.3. CARBOXIMETILCELULOSA (E-466)

A esta goma también se le puede llamar goma de celulosa y es carboximetilcelulosa sódica purificada con diferentes grados de sustitución, con los que se consigue más variedad de productos con diferente funcionalidad y aplicación en la industrial. Depende del grado de sustitución, el producto tendrá diferente solubilidad.

La CMC es un ligante del agua del medio que ofrece buena funcionalidad a diferentes temperaturas, ya que es soluble tanto en frío como en caliente. Es estable a pH entre 5 y 11, siendo en óptimo entre 7 y 9. Por debajo de 5 afecta a la viscosidad y a 2-3 precipita. Entre sus funciones podemos encontrar la de controlador de la viscosidad y reología, agente de suspensión y aglutinación, etc. (Cubero et al., 2002).

La fibra de este aditivo, es fibra soluble, que según diversos estudios, podría reducir el nivel de colesterol en sangre (Padalino et al., 2013). Además, la adición de CMC en la comida

hecha a base de cereales ha mostrado efectos beneficiosos en la regulación de glucosa en sangre y en los niveles de colesterol en plasma (Brennan et al., 1996).

I.4. COMPOSICIÓN Y VALOR NUTRICIONAL DE LAS PASTAS ALIMENTICIAS

La pasta se compone básicamente de hidratos de carbono, conteniendo además una pequeña cantidad de grasa y minerales, los cuales son: hierro, calcio, fósforo, magnesio, cinc, cobre, manganeso, potasio y sodio (Dendy y Dobraszczyk, 2004).

Al ser un alimento elaborado a base de harina de trigo, tiene un elevado contenido en carbohidratos. Unos 100 g de pasta contienen aproximadamente 75 g de hidratos de carbono, que proporcionarían aproximadamente unas 370 Kcal, lo que representa aproximadamente el 15 % de las necesidades de una persona que desarrolle una actividad normal. Los hidratos de carbono que contiene la pasta se encuentran mayoritariamente en forma de carbohidratos complejos y no como azúcares simples que se pueden digerir rápidamente. El más importante sería el almidón, que le otorga a la pasta propiedades funcionales como es la de aportar unos niveles estables de glucosa en sangre, lo cual es importante para aquellas personas con deficiencia de insulina, una disminución de los niveles de colesterol en sangre y una estabilización del funcionamiento normal de la tiroides (Martínez y García, 2001).

El aporte de grasas es muy bajo, además de no contener colesterol sino grasas vegetales y en cantidades muy pequeñas (100 gramos de pasta contienen menos de 1 gramo de grasa).

En cuanto al contenido proteico de la pasta, las proteínas más importantes son las gluteninas y las gliadinas, que le confieren elasticidad gracias a la red viscoelástica que se forma durante el amasado (gluten), pero por otro lado la pasta es deficiente en un aminoácido esencial como la lisina. Dicha red rodea al almidón, formando una estructura más fuerte que no se descompondrá tan fácilmente durante la cocción de la pasta (Dendy y Dobraszczyk, 2004).

El aporte de vitaminas y minerales es relativamente bajo, excepto en el caso de que la pasta haya sido enriquecida. Aún así, la pasta contiene vitaminas del grupo E y B, que son consideradas antioxidantes celulares.

La pasta aporta también un porcentaje aceptable de fibra vegetal, (sobre todo las pastas integrales), lo que favorece el funcionamiento gastrointestinal y ayuda a metabolizar el colesterol y los triglicéridos.

En resumen, la pasta es un alimento básico aunque no es un alimento completo, ya que aporta pocas proteínas y no contiene grasas, por lo que hay que complementarla con otros alimentos como los huevos, el aceite de oliva virgen extra, el pescado y la carne.

La adición de huevo a las formulaciones de pasta fresca hace que el valor nutricional de la pasta aumente, gracias a las características composicionales que aporta. Además, en cuanto a las características visuales, le da un color más amarillento a las formulaciones de pasta fresca. Otra característica que le da el huevo es que le aporta una textura más fuerte (Hager et al., 2013).

En cuanto a la utilización del agua, ésta ha de ser siempre potable, estando libre de contaminantes químicos y microbiológicos. El agua contribuirá a la manejabilidad de la masa para la posterior formación de las láminas de pasta.

Por todo esto, los beneficios que aportan las pastas alimenticias sobre la salud se pueden resumir en los siguientes puntos:

- La pasta es un producto bajo en grasas y sin colesterol.
- Proporciona energía fácilmente aprovechable para el metabolismo oxidativo.
- Mantiene el nivel de glucemia (cantidad de azúcar en la sangre) y favorece el correcto funcionamiento del sistema gastrointestinal.
- Además, los carbohidratos tienen una gran importancia dietética ya que la calidad especial de su almidón produce un menor aumento de azúcar en la sangre.
- Permite una digestión fácil y lenta, por lo que resulta un buen aporte energético para actividades que requieren esfuerzo físico o mental.
- Los carbohidratos también intervienen en el metabolismo del colesterol y de los triglicéridos.

I.5. PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA PASTA ALIMENTICIA

Entre los parámetros considerados más importantes para determinar la calidad de la pasta se pueden encontrar aspectos visuales como el color, el aspecto global, que embarca el agrietamiento y la decoloración en el caso de la pasta deshidratada, y aspectos texturales, como pueden ser la pegajosidad, la adhesividad, la firmeza, la cohesividad y la elasticidad (Callejo, 2002).

Los parámetros que se tienen en cuenta a la hora de evaluar la calidad de la pasta fresca son los siguientes:

El color

El color de la pasta es uno de los aspectos más considerados por los consumidores para decidir la compra y depende mayoritariamente de las características del trigo que hemos utilizado para su elaboración de la pasta. El más indicado sería el color amarillo, del cual se puede encontrar gran variedad de tonalidades. Podría darse el caso de que apareciera una tonalidad marrón en nuestro producto, pero se despreciaría debido a que es muy frecuente su aparición tras el proceso de elaboración de la harina, siendo su origen las reacciones enzimáticas producidas en la molienda de la sémola.

El color amarillo proviene de los pigmentos carotenoides localizados, principalmente, en el embrión. En la fabricación de las pastas alimenticias se destruye una cantidad de carotenoides variable debido a las oxidasas, como por ejemplo la lipoxigenasa. Ésta se localiza en las partes periféricas del germen del trigo y cataliza la destrucción de los carotenoides, provocando una cierta pérdida del color amarillo.

El color marrón vendría de la actividad de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasas. Las peroxidases requieren de peróxido de hidrógeno libre para catalizar, y las polifenoloxidasas requieren de oxígeno libre en el ambiente para llevar a cabo la reacción. De estas dos reacciones se obtienen compuestos oxidados como las quinonas, que son responsables de la desvalorización de las pastas.

El aspecto global

El aspecto es un componente que influye en gran medida en la aceptación del consumidor. Entre los defectos más importantes se pueden encontrar:

El agrietamiento, defecto que se da en la pasta seca cuando en ésta empiezan a aparecer grietas en la superficie lisa, factores como las manchas y las rayas pueden acabar rompiéndola. Esto se debe a unas condiciones inadecuadas de secado ya que la humedad superficial se evaporaría muy rápidamente endureciendo la superficie de la pasta y cuando llegara al centro, la hebra sería incapaz de ejercer resistencia a la tensión que aparece en la pasta y emergerían las grietas. También podrían aparecer debido a un mal almacenaje tras el empaquetado ya que la humedad relativa del ambiente sería inestable.

Otro defecto sería la decoloración, que aparece debido a que en la etapa de mezclado no ha habido una hidratación homogénea de la masa y, como consecuencia, aparecen manchas blancas.

La textura

La calidad culinaria o calidad de cocción depende de varios factores que pueden sumarle o restarle eficacia durante y tras el cocinado. Entre ellos se encuentran el hinchamiento debido a la absorción de agua, la firmeza y viscoelasticidad después de la cocción, desintegración o rotura del producto cocido, o su propio aroma o gusto. A continuación se explican más detalladamente alguna de ellas:

- Firmeza: representa el grado de resistencia a la primera mordedura o la fuerza necesaria para penetrar la pasta con los dientes.
- Cohesividad: indica la fuerza de las uniones internas que mantiene la estructura de la pasta. Es importante a la hora de clasificar las pastas según su aspecto tras haber realizado la cocción, ya que es fácil detectar una pasta en mal estado o que ha sido producida de manera incorrecta debido a la descomposición que se presenta tras la cocción, diferenciándose así de su aspecto inicial.
- Elasticidad: muestra la capacidad de la pasta deformada para recuperar su aspecto inicial una vez retirada la fuerza deformante.
- Pegajosidad: representa la fuerza con la que la superficie de la pasta, una vez cocinada, se adhiere a otros materiales u objetos.

Las características que se esperarían en la pasta final son:

- Una textura lisa de la superficie
- La ausencia de grietas
- La ausencia de manchas
- Una coloración adecuada
- Una firmeza adecuada
- La ausencia de pegajosidad
- Una débil pérdida de materia durante la cocción
- Hinchamiento
- Aroma y gusto característicos

I.6. PAPEL DE LA FIBRA EN LA DIETA. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La fibra dietética ha recibido gran atención por parte de los investigadores y la industria alimentaria debido a los posibles efectos beneficiosos sobre la reducción de las enfermedades relacionadas con el corazón, la incidencia de la diabetes, la neoplasia intestinal y el estreñimiento (Lairon et al, 2005; Park, Seib, y Chung, 1997). Una dieta enriquecida con fibra juega un papel importante en la reducción del riesgo de varias enfermedades crónicas incluyendo las enfermedades coronarias del corazón, la diabetes, la hipertensión y la obesidad

(FAO / OMS, 2003). Por otra parte, debido a que la fibra se une y diluye los ácidos biliares secretados al duodeno como presencia de quimos grasos, esto podría estar implicado en la estimulación de la carcinogénesis química y disminuir el riesgo de cáncer de colon.

La fibra se define como la parte de la dieta que no se digiere enzimáticamente, por lo que no tiene función nutricional. Está formada por celulosa y hemicelulosa, pectinas y gomas. En la actualidad, el contenido en fibra de la dieta es bastante bajo, siendo lo recomendable entre 20 y 35 g/día (OMS, 2003). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003) se recomienda un aporte entre 20-35 g/día o bien aproximadamente de 10-14 g por cada 1.000 Kcal; en niños mayores de dos años y hasta dieciocho se recomienda el consumo de la cantidad que resulte de sumar 5 g/día a su edad. De forma general la fibra consumida debe tener una proporción de 3:1 entre insoluble y soluble. Son alimentos ricos en fibra insoluble la harina de trigo, el salvado, guisantes, repollo, vegetales de raíz, cereales y frutas maduras. Son ricos en fibra soluble la avena, las ciruelas, la zanahoria, cítricos, judías secas y otras legumbres.

El consumo en fibra ha bajado durante estos años debido a la menor ingesta de semillas, cereales integrales, raíces, tubérculos y frutas (Martínez y García, 2001). Por ello, se recomienda a los consumidores que incrementen el consumo de productos vegetales (frutas, cereales, leguminosas, etc.) en sus dietas y a la industria de alimentos que “enriquezcan” sus productos con fibra alimentaria o con algún componente de ella.

La clasificación de las fibras desde el punto de vista más práctico da lugar a dos grupos bastante diferenciados (García Peris y col., 2007), el de las fibras fermentables, solubles y viscosas (oligosacáridos, pectinas, β -glucanos, y galactomananos), y el de las fibras escasamente fermentables, insolubles y no viscosas (celulosa, hemicelulosa y lignina).

En cuanto a la fermentabilidad se puede decir que es la propiedad más importante de un gran número de fibras, ya que de ella dependen un gran número de efectos tanto locales como sistemáticos. La fermentabilidad está bastante relacionada con la solubilidad de cada fibra. Aproximadamente más del 50% de la fibra consumida es degradada en el colon. El resto es eliminada por las heces.

La fibra tiene diversos efectos fisiológicos. Las fibras muy fermentables, solubles y viscosas estimulan la salivación y retrasan el vaciamiento gástrico, aumentando la sensación de saciedad. También se produce una disminución en la absorción de los ácidos biliares ya que éstos se unen a los residuos fenólicos y urónicos, por lo que es posible disminuir los niveles de colesterol ya que éste se usa en la síntesis de nuevos ácidos.

En cuanto a la absorción de calcio (Gordon DT, 1990), se ha observado que el calcio atrapado y transportado hasta el colon se libera al hidrolizarse la fibra por efecto de las bacterias colónicas. Los ácidos grasos de cadena corta producidos facilitan la absorción de este calcio a través de las paredes del colon.

Debido a su capacidad para retener agua, en especial la fibra insoluble o poco fermentable, se produce un aumento del bolo fecal, aumentando el peristaltismo y reduciendo el tiempo de tránsito intestinal. Es por tanto fundamental en la prevención y tratamiento del estreñimiento.

Después de numerosos estudios y trabajos especialmente a raíz de los realizados por Burkitt y Trowell (1974) se ha podido describir los beneficios del consumo habitual de fibra sobre la prevención de las distintas enfermedades, tales como el estreñimiento, (debido al aumento de masa fecal), la diarrea, la colitis ulcerosa, la diverticulosis (enfermedad común en países occidentales debido a la baja ingestión de fibra), el cáncer colorrectal, las enfermedades cardiovasculares (debido al efecto de la fibra soluble sobre la reducción de lípidos). Aunque algunos efectos podrían no ser beneficiosos para la salud, como sería la absorción de

I. Introducción

determinados minerales como el calcio, hierro, cobre y zinc, que pueden disminuir si se ingieren dietas muy ricas en fibra.

II. OBJETIVOS y PLAN DE TRABAJO



II. OBJETIVOS

II.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la sustitución parcial de sémola de trigo duro por harina de chufa, con y sin incorporación de hidrocoloides, en el comportamiento reológico (análisis de perfil de textura y ensayo oscilatorio) de formulaciones de pasta fresca con el fin de obtener un producto enriquecido en fibra dietética y con características físico-químicas y sensoriales aceptables.

II.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar la distribución del tamaño de partícula de las materias primas sólidas empleadas: sémola de trigo duro, harina de chufa y sus mezclas (niveles de sustitución establecidos).
2. Analizar los cambios producidos por la incorporación de harina de chufa en la humedad, la actividad del agua, perfil de textura (TPA) y comportamiento viscoelástico de la pasta fresca (antes y después de la cocción). Comparar los resultados con los obtenidos en pasta 100% sémola de trigo (control).
3. Determinar el efecto de la adición de tres agentes estructurantes (Carboximetil Celulosa (CMC), Goma Xanthana (GX) y Goma de Garrofin (GG)) en las mismas propiedades descritas en el punto 2.
4. Seleccionar la combinación de CMC, GX y GG más adecuada para asegurar la máxima calidad de las pastas elaboradas (análisis de superficie de respuesta).

II.3 PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo y tareas específicas para la consecución de los objetivos propuestos son:

1. Revisión bibliográfica de los siguientes temas: pasta fresca, pasta compuesta, hidrocoloides, carboximetilcelulosa, goma garrofin, goma xantana, chufa, reología de pasta.
2. Diseño de varios niveles de sustitución de sémola de trigo duro por harina de chufa para evaluar el efecto sobre las propiedades evaluadas en formulaciones de pasta fresca, incluyendo aquella que permitiría catalogar al producto obtenido como “alimento fuente de fibra” (según el Reglamento no 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 2006, relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos, que entró en vigor el 1 de julio de 2007 (Diario Oficial de la Unión Europea L 404 de 30 de diciembre de 2006) (Consejo Europeo, 2006).
3. Determinación, en las formulaciones de pasta establecidas en el punto 2 (antes y después de la cocción), de: la humedad, la actividad del agua, la dureza, la elasticidad, la cohesividad, la masticabilidad o gomosidad, la adhesividad, el comportamiento

viscoelástico. Comparación de los resultados con los obtenidos en pasta 100% sémola de trigo (control).

4. Estudio del efecto de la adición de los hidrocoloides carboximetilcelulosa (CMC), goma de garrofin (GG) y goma xantana (GX) a las formulaciones de pasta fresca, y optimización de las formulaciones.
 - 4.1. Realización de un diseño experimental para el análisis de superficie de respuesta con tres factores (concentraciones de CMC, GX y GG).
 - 4.2. Obtención de pasta fresca a partir de las formulaciones del diseño experimental del punto 4.1.
 - 4.3. Determinación, en el producto recién elaborado y en el producto cocido, de los mismos parámetros descritos en el punto 3.
 - 4.4. Selección de la combinación de CMC, GX y GG más adecuada en base a los parámetros determinados en el punto 4.3.

III. MATERIALES Y MÉTODOS



III. MATERIALES Y MÉTODOS

III.1. MATERIAS PRIMAS

Para llevar a cabo la elaboración de las distintas formulaciones se utilizaron las siguientes materias primas: sémola de trigo duro con 65% de extracción (TD), harina de chufa (CH), huevo líquido pasteurizado (H), agua potable (W) e hidrocoloides: carboximetilcelulosa (CMC), goma xantana (GX) y goma garrofín (GG).

La sémola de trigo duro, con extracción del 65%, fue suministrada por un proveedor de la industria agroalimentaria Harineras Villamayor, S.A. (Huesca, España). La harina de chufa se adquirió en la empresa Tigernuts Traders S.L. (L'Eliana, Valencia), productora de chufa y derivados. El huevo líquido pasteurizado proviene de la empresa Avícola Llombai S.A. (Llombai, Valencia). Los hidrocoloides fueron suministrados por la empresa EPSA S.A. (Torrent, Valencia). Por último, era necesario que el agua fuera potable siempre, por lo que se abasteció de la red local de agua del laboratorio.

En la Tabla 1 se resume la composición química y la granulometría, en su caso, de las materias primas empleadas en este estudio.

Tabla 1. Características de las principales materias primas (Fuente: proveedores)

Materia prima	TD	CH	H
Humedad (%)	15	-	77,5
Proteína (%)	12	4,94	11
Lípidos (%)	-	17,0	9
Grasas saturadas		2,2	
Carbohidratos	70	54,7	1
Fibra dietética total (%)	3	11,2	-
Cenizas	0,90	-	0,6
Granulometría	50% 250-350 µm 50% 132-250 µm	0,3 mm	-

III.2. HIDROCOLOIDES

Los hidrocoloides utilizados son: carboximetilcelulosa (E-466), goma xantana (E-415) y goma garrofín (E-410). La Tabla 2 muestra las características suministradas por el proveedor.

Tabla 2. Composición de los hidrocoloides utilizados (Fuente: EPSA S.A, 2015)

	Carboximetilcelulosa	Goma xantana	Goma garrofín
Humedad (%)	10	15	12
Cenizas (%)		13	1
Granulometría	> 95% <425 µm	> 95% < 180 µm	> 95% <150 µm
Pureza (%)	99,5	91-108	

III.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

La consecución del trabajo se ha llevado a cabo en dos etapas:

- (1) Se ha evaluado el efecto de la sustitución parcial de sémola de trigo duro por harina de chufa en las propiedades analizadas, considerando los niveles de la Tabla 3, y sin adición de hidrocoloides.

Tabla 3. Composición de las formulaciones con distinto % de sustitución de TD por CH (% en peso de pasta fresca)

Formulación	TD (g)	CH (g)	H (g)	W (g)
40%	42,6	28,4	13	16
30%	49,7	21,3	13	16
20%	56,8	14,2	13	16
10%	63,9	7,1	13	16
0%	71	0	13	16

Este efecto se evaluó tanto para pasta fresca como para pasta cocida

- (2) Se ha intentado optimizar la formulación con 40% de sustitución con incorporación de hidrocoloides.

El contenido en fibra dietética de con este nivel de sustitución se sitúa en torno al 4%, calculado a partir de la composición de la sémola y la harina de chufa, pudiendo catalogarse por tanto como un producto “fuente de fibra”(según el Reglamento nº 1924/2006 del Parlamento Europeo).

Se ha realizado un diseño experimental fundamentado en la combinación de cantidades variables de tres hidrocoloides conocidos (carboximetilcelulosa, goma xantana y goma garrofín), con cantidades fijas de sólidos (sémola de trigo duro y harina de chufa) y de líquidos (huevo y agua). La proporción de componentes sólidos y líquidos de la mezcla, y las diferentes etapas de elaboración de la masa de pasta, se establecieron en estudios previos (Gea, 2014).

Se eligió un diseño de Box-Behnken utilizando el paquete programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.I versión 16.1.17 (StatPoint Technologies, Inc., 2011). Los límites, tanto inferiores como superiores, y el punto central del diseño fueron codificados como -1, +1 y 0, respectivamente, y se eligieron de acuerdo a ensayos previos (-1 equivale a 0%, 0 a 0,4% y +1 a 0,8%, todas concentraciones en peso de cada goma). La matriz obtenida consta de 15

III. Materiales y métodos

experimentos (CH1-CH15), tres de los cuales son réplicas y se desarrollaron siguiendo un orden aleatorio.

En esta etapa, se midieron los parámetros de las propiedades mecánicas, las propiedades reológicas fundamentales, la actividad de agua (a_w) y la humedad (x_w).

Tabla 4. Composición de las distintas formulaciones en % en peso (100 g pasta)

Formulación	TD (%)	CH (%)	H (%)	W (%)	CMC (%)	GX (%)	GG (%)
CHO	71	0	13	16	0	0	0
CH1	40,6	28,4	13	16	0,8	0,8	0,4
CH2	41,4	28,4	13	16	0,0	0,8	0,4
CH3	41,4	28,4	13	16	0,4	0,0	0,8
CH4	41,4	28,4	13	16	0,8	0,0	0,4
CH5	41,4	28,4	13	16	0,4	0,4	0,4
CH6	40,6	28,4	13	16	0,4	0,8	0,8
CH7	41,4	28,4	13	16	0,4	0,4	0,4
CH8	42,2	28,4	13	16	0,0	0,4	0,0
CH9	42,2	28,4	13	16	0,0	0,0	0,4
CH10	41,4	28,4	13	16	0,4	0,8	0,0
CH11	41,4	28,4	13	16	0,8	0,4	0,0
CH12	42,2	28,4	13	16	0,4	0,0	0,0
CH13	41	28,4	13	16	0,4	0,4	0,8
CH14	40,6	28,4	13	16	0,8	0,4	0,8
CH15	41,4	28,4	13	16	0,4	0,4	0,4

Para evitar posibles variaciones en los resultados y poder compararlos entre ellos, se utilizó durante la experimentación el mismo lote, tanto de sémola de trigo duro al 65% de extracción y harina de chufa, como de huevo líquido pasteurizado y de los distintos tipos de hidrocoloides.

El proceso se llevó a cabo por duplicado, ya que la primera elaboración de pasta se realizó para ver sus propiedades estando la masa cruda, y la segunda elaboración se realizó para evaluar sus propiedades tras la cocción.

III.4. ELABORACIÓN DE LA PASTA

El proceso de elaboración de la pasta fresca se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 1.

A continuación, se describe cada una de las etapas:

Etapas 1: Selección y pesado de las materias primas

Para comenzar con el proceso, lo primero que se hizo fue seleccionar las materias primas, comprobando que estuvieran en correcto estado para su utilización. El pesado de los ingredientes se llevó a cabo empleando siempre la misma balanza, modelo PFB 300-3 Kern & Balirgen, con una precisión de 0,001 g.

Etapas 2: Mezclado de ingredientes

En esta etapa se mezclaron tanto los ingredientes sólidos como los ingredientes líquidos. Para ello se utilizó un equipo Thermomix modelo TM-31 (Vorwerk España M.S.L., S.C., Madrid). El orden de incorporación de los ingredientes a la Thermomix se estableció para conseguir una adecuada hidratación y una masa homogénea, fácil de manejar..

El primer paso es el mezclado de los líquidos: agua potable y huevo líquido pasteurizado. Seguidamente se incorporaban los ingredientes sólidos, comenzando por los hidrocoloides, mezclando durante 30 segundos a velocidad 4. En segundo lugar, se añadieron las harinas, previamente mezcladas, y se mezclaba todo durante 45 segundos aumentando progresivamente la velocidad hasta alcanzar la velocidad 4.

Etapas 3: Amasado y reposo

La mezcla bien homogénea, se amasó a velocidad espiga durante dos minutos y medio en la Thermomix previamente nombrada. La masa así obtenida, se dejaba reposar dentro del equipo durante 5 minutos para facilitar la formación de la red proteica. Pasado este tiempo, se volvió a repetir el proceso de amasado durante otros dos minutos y medio a velocidad espiga.

Al acabar el proceso, se retiraba la masa de la Thermomix, se le daba forma de bola manualmente y se dejaba reposar durante 20 minutos en una bolsa cerrada herméticamente para evitar su desecación.

Etapas 4: Laminado

Para la laminación se empleó una laminadora (modelo A 2500, Imperia, Italia) acoplada a un motor eléctrico que permite laminar a una velocidad constante. Se pasaba la masa por el espesor 5 dos veces, por el espesor 4 otras 2 veces y una vez por el espesor 3, consiguiendo así láminas de 1 mm de espesor.

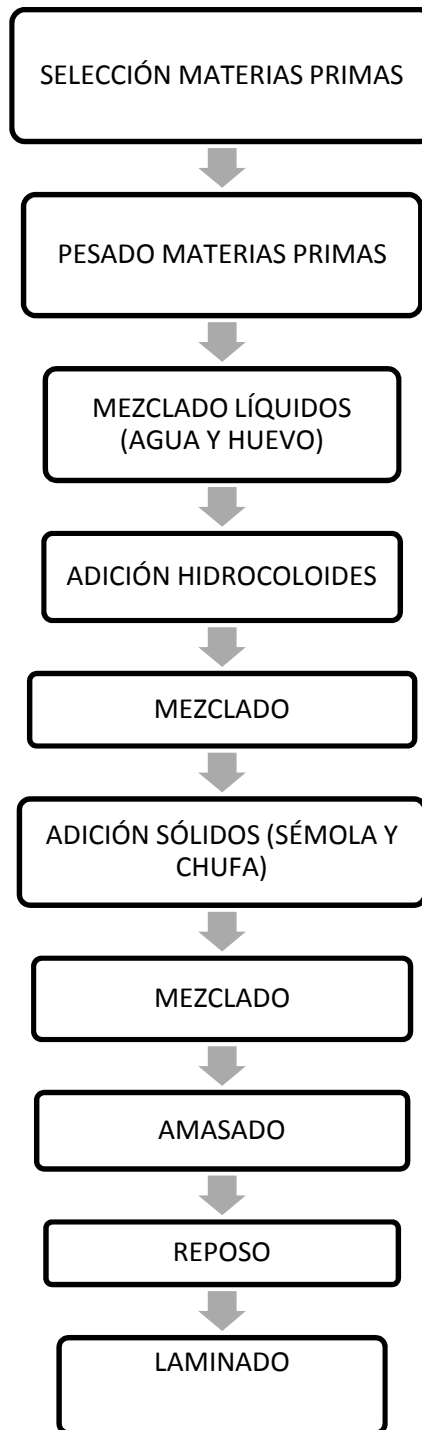


Figura 1. Diagrama de flujo de la elaboración de la pasta fresca.

III.5. CARACTERIZACIÓN DE LA PASTA

III.5.1. HUMEDAD

La determinación de la humedad se basa en la pérdida de agua que experimenta la masa en una estufa a $130\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ hasta conseguir un peso constante, empleando el método gravimétrico AACC 44-40 (AACC, 2000). Para medir las variaciones de peso, se empleó siempre la misma balanza con una precisión de 0,001 g modelo PFB 300-3 (Kern & Sohn GmbH, Balingen). Este parámetro se realizó por triplicado para cada formulación, en la pasta cruda y en la pasta cocida.

III.5.2. ACTIVIDAD DEL AGUA (a_w)

La actividad de agua se determinó, tanto en la masa cruda como en la masa cocida, empleando un equipo AquaLab 4TE, que tiene una precisión de ± 0.003 , calibrado previamente con carbón activo.

La medida de a_w en la pasta cruda se realizó una vez pasados 20 minutos de reposo tras el amasado, y para el caso de la pasta cocida tras 15 minutos de reposo tras la cocción.

III.5.3. ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA (TPA)

Las propiedades mecánicas primarias y secundarias de las diferentes formulaciones de pasta, antes y después de cocer, se determinaron utilizando un Texturómetro Analizador Universal de Textura TA.XT2 (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK) conectado a un ordenador donde es posible visualizar los resultados obtenidos en el ensayo mediante el software Texture Exponent Version 6.1.7 (Stable MicroSystems).

Se llevó a cabo un ensayo de doble compresión del 50% respecto a la altura inicial de la masa de pasta, utilizando una sonda de 3 centímetros de diámetro, con 75 segundos de descanso entre compresiones a una velocidad de 1 mm/s y con distintos espesores de lámina (1 cm para la cruda y 1 mm para la cocida). El ensayo se realizó por cuadruplicado en el caso de la pasta cruda y por sextuplicado para la pasta cocida.

Los parámetros que se tuvieron en cuenta para la caracterización de la pasta son: dureza, adhesividad, elasticidad, masticabilidad (para la pasta cocida), gomosidad (para la pasta cruda) y cohesividad. La dureza es la fuerza máxima registrada en la primera compresión. La adhesividad se define como el área de fuerza negativa después de la primera compresión, que representa el trabajo necesario para apartar el émbolo de compresión de la muestra. La elasticidad se definió como la distancia a la que una muestra deformada vuelve a su estado de no deformidad después de que se retire la fuerza de deformación durante la segunda compresión. La cohesividad se define como la relación del área bajo el segundo pico al área bajo el primer pico (Kullaya L, Yao-Wen Y, 2007). Por su parte, la masticabilidad y gomosidad se obtienen a partir de las propiedades ya mencionadas (Figura 2).

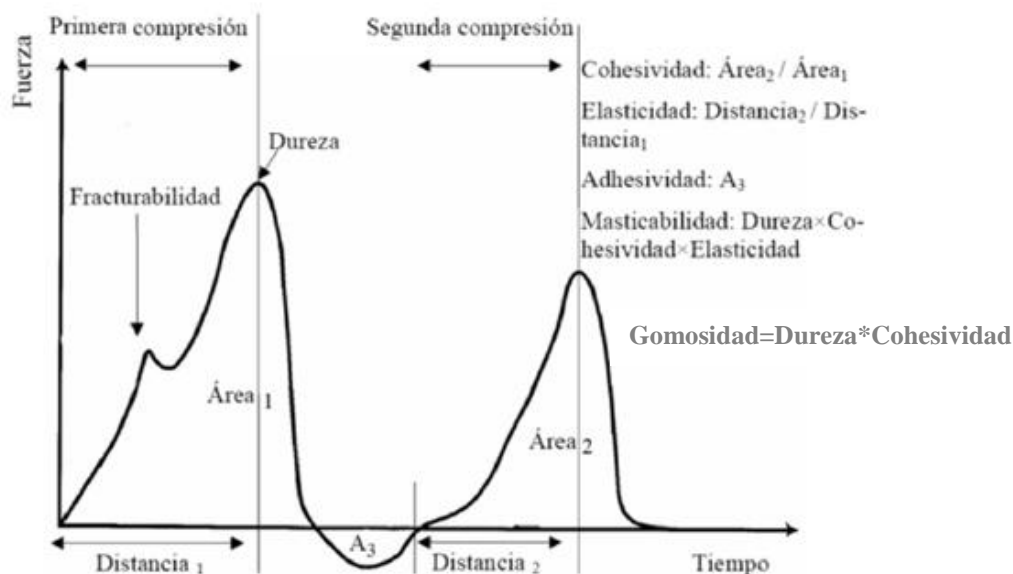


Figura 2. Curva generalizada del Análisis de Perfil de Textura (TPA)

III.5.4. PROPIEDADES REOLÓGICAS DINÁMICAS: TEST OSCILATORIO

Las propiedades viscoelásticas de las masas (cada formulación ensayada) se determinaron a 20°C utilizando un reómetro rotacional (RS1-Thermo Haake, Karlsruhe, Alemania) conectado a un ordenador con el software RheoWin 3 y realizando un ensayo en barrido de frecuencia. Se empleó una geometría de platos paralelos de 60 mm de diámetro con un espacio intermedio de 1 mm. Tras colocar la muestra en el plato inferior se alcanzó la posición de medición, el exceso de muestra fue eliminado y la zona expuesta al aire se cubrió con una ligera capa de aceite mineral para evitar la pérdida de humedad por parte de la muestra durante el ensayo. Colocada la muestra en el reómetro se dejó reposar durante 10 minutos para permitir la relajación del estrés residual y posteriormente comenzó el análisis.

En primer lugar se identificó la región viscoelástica lineal (LVR) mediante un barrido de deformación (0.01–300 Pa) a una frecuencia fija de 1 Hz. A partir de estos datos, se eligió dentro de la región viscoelástica lineal una deformación de 0,2% para realizar el barrido de frecuencia (0,1-10 rad/s) a deformación constante. Dicho barrido se llevó a cabo por triplicado para cada formulación ensayada, obteniéndose así las componentes viscoelásticas de la masa en función de la frecuencia angular (ω , rad/s): módulo de almacenamiento (G' , Pa), módulo de pérdida (G'' , Pa), ángulo de fase ($\tan\delta$) y viscosidad compleja (η^*).

Los datos experimentales fueron ajustados con ecuaciones potenciales (ecuaciones 1 y 2) (Georgopoulos et al., 2004, Sivaramakrishnan et al., 2004 and Steffe, 1996). Los exponentes a y b permiten cuantificar el grado de dependencia de los módulos G' y G'' con la frecuencia oscilatoria, ω .

$$G'(\omega) = K' \cdot \omega^a \quad (\text{ec. 1})$$

$$G''(\omega) = K'' \cdot \omega^b \quad (\text{ec. 2})$$

III.5.5. ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

El tamaño de partícula se determinó usando un difractómetro láser Mastersizer 2000 (Malvern Instruments Ltd., Reino Unido) equipado con una unidad de manipulación de muestra Scirocco 2000 para el análisis por vía seca. Se consideró un índice de refracción de 1,52 y un índice de absorción de 0,1. Las muestras utilizadas para esta caracterización fueron: FC, CHO, y las formulaciones con 10, 20, 30 y 40% de sustitución de sémola por harina de chufa. Las medidas se llevaron a cabo por triplicado. El tamaño medio de las partículas fue expresado en términos del parámetro $D[4,3]$ (ecuación 3), donde n es la cantidad de partículas de diámetro d .

$$D[4,3] = \sum_{i=1}^n n d_i^4 / \sum_{i=1}^n n d_i^3 \quad (\text{ec. 3})$$

III.5.6. ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis de los resultados obtenidos en las formulaciones 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de sustitución, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significación del 95% y utilizando para las comparaciones el test LSD. Los datos fueron analizados mediante el Software estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI Versión 16.1.17. (StatPoint Technologies, Inc., 2011).

Por otra parte, se realizó la optimización de las formulaciones con 40% de sustitución y con incorporación de hidrocoloides mediante la metodología de superficie de respuesta aplicada a los parámetros analizados. Para ello se empleó el software estadístico comercial Statgraphics Centurion XVI.I v 16.1.17 (StatPoint Technologies, Inc., 2011), que permite obtener los modelos de regresión múltiple, mediante los cuales es posible explicar la influencia que sobre ellos ejercen los hidrocoloides CMC, GX y GG ($P < 0.05$). El análisis de varianza y los coeficientes de determinación fueron generados con el mismo software y los gráficos de las superficies de respuesta con el software SigmaPlot v 12.5 (Systat Software, Inc., 2011).

IV. RESULTADOS



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El hecho de incorporar harina de chufa a las formulaciones de pasta conlleva un cambio en sus propiedades tecnológicas y funcionales debido, entre otras cosas, a la disminución del contenido en gluten. En este trabajo se ha evaluado la viscoelasticidad de la matriz de las masas de pasta enriquecida en fibra con incorporación de harina de chufa e hidrocoloides mediante medidas reológicas fundamentales (ensayo oscilatorio) y análisis del perfil de textura (TPA). Y se ha estudiado la posible relación entre los parámetros físicos obtenidos y el nivel de sustitución empleado de ambos componentes (harina de chufa e hidrocoloides).

La humedad media de todas las formulaciones crudas ensayadas fue de 0,301 (0,012) y de las formulaciones cocidas 0,6544 (0,0002). En el caso de la a_w , para las formulaciones crudas fue de 0,968 (0,005) y para las formulaciones cocidas de 0,9939 (0,0002). Estos resultados estarían según lo estipulado por la legislación vigente, que marca para el caso de la pasta fresca una humedad máxima del 30% (Real Decreto 1534/1991).

IV.1. ANÁLISIS DE LA SUSTITUCIÓN DE SÉMOLA POR HARINA DE CHUFA

En este apartado se estudia el impacto que tiene la sustitución parcial de sémola de trigo por harina de chufa en la pasta, tanto fresca como cocida, sin empleo de hidrocoloides.

IV.1.1. ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

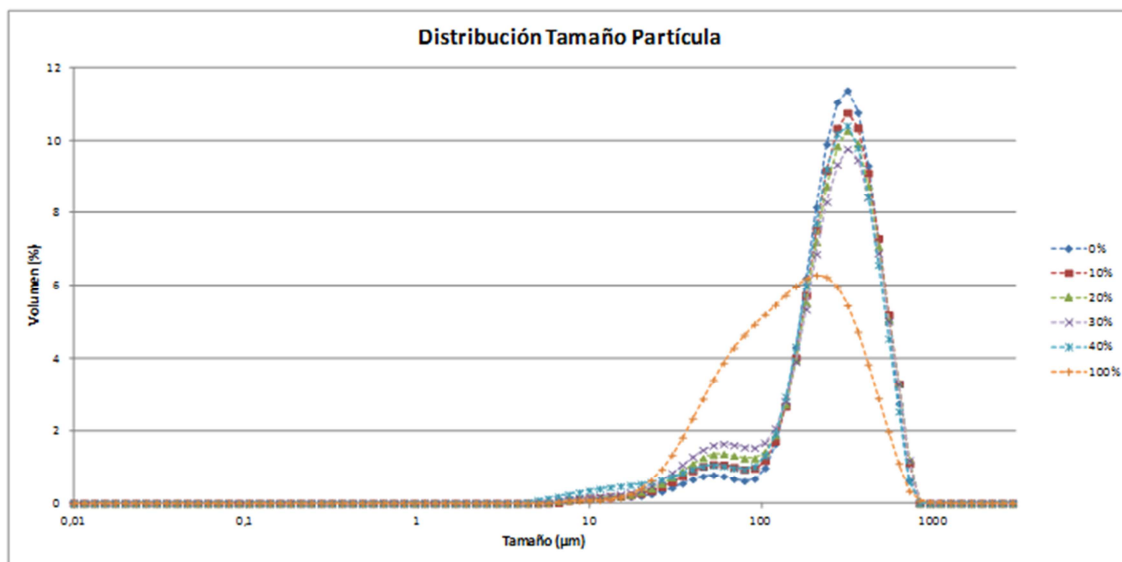


Figura 3: Distribución del tamaño de partícula para las formulaciones con niveles de sustitución de sémola por harina de chufa del 0, 10, 20, 30, 40 y 100%.

En esta figura se observa una distribución de tamaño de partícula bimodal en la sémola de trigo duro y en las mezclas sémola-harina de chufa, mientras que la muestra 100% harina de chufa presenta una distribución monomodal con un span mucho mayor. Los resultados del análisis del tamaño de partícula se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores medios (desviación) de tamaño medio de partícula ($D_{4,3}$), de tamaño máximo de partículas para el 90% ó el 50% de la muestra ($d(0,9)$ ó $d(0,5)$) y del número span.

Formulación	$D_{4,3}$ (μm)	$d(0,9)$	$d(0,5)$	Span
0	319 (3) ^a	531 (4) ^b	305 (3) ^a	1,300 (0,018) ^c
10	318 (2) ^a	545 (3) ^a	305 (2) ^a	1,4670 (0,0099) ^d
20	311 (0,8) ^b	544 (15) ^a	298 (0,8) ^b	1,576 (0,007) ^c
30	304 (2) ^c	545 (2) ^a	291 (3) ^c	1,647 (0,014) ^b
40	298 (2) ^d	521 (4) ^c	288 (2) ^d	1,5870 (0,0103) ^c
100	203(4) ^e	419(8) ^d	162(4) ^e	2,28(0,06) ^a

Letras diferentes por columnas indican diferencias significativas al 95% de confianza

Se observa que el tamaño medio disminuye y el span aumenta con el porcentaje de harina de chufa presente en la formulación. Por tanto, a medida que aumenta el contenido en harina de chufa, la distribución de tamaños es más heterogénea y se desplaza hacia tamaños menores, lo que se traduce en un número span mayor (mayor anchura de distribución).

IV.1.2. PROPIEDADES REOLÓGICAS DINÁMICAS

Se ha demostrado que las medidas oscilatorias en la región viscoelástica lineal llevadas a cabo sin afectar o destruir la estructura son muy útiles a la hora de evaluar la influencia y la significancia de los ingredientes estructurales como los hidrocoloides en masa (Ronda et al., 2013). El análisis de las propiedades reológicas fundamentales sólo se pudo llevar a cabo con la masa de las formulaciones con un nivel de sustitución de chufa del 0 y 40% debido a la indisponibilidad del equipo en el momento de realizar las formulaciones con niveles de sustitución del 10, 20 y 30%.

El primer barrido de deformación permitió determinar la LVR para poder así llevar a cabo el test dinámico oscilatorio. Se observó, para la mayoría de las formulaciones, que la LVR va desde aproximadamente 10 Pa hasta 100 Pa, lo que correspondería a un valor de deformación de 0,2%. Para el caso de las formulaciones CH11 y CH12, la deformación fue de un 0,1%.

En la figura 4 se muestra un ejemplo de los espectros mecánicos obtenidos en el barrido de frecuencia para las formulaciones de pasta evaluadas (0% y 40%). En ella es posible visualizar las diferencias existentes entre los valores de G' y G'' de ambas formulaciones.

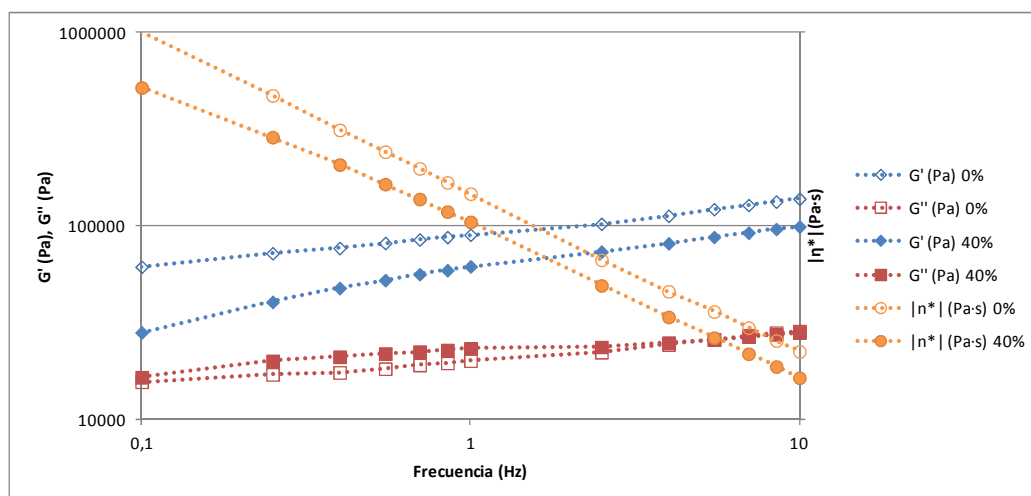


Figura 4. Espectro mecánico de las formulaciones de 0 y 40% de sustitución de harina de chufa. (◇) módulo G' ; (□) módulo G'' ; (○) viscosidad compleja. Los símbolos se corresponden con los valores experimentales y las líneas representan la medición con la ecuación 1.

En esta figura es posible observar que tanto los valores de G' como de viscosidad compleja (η^*) de la formulación sin incorporación de harina de chufa (0% de sustitución), son superiores en todo el rango de frecuencia angular empleado. El módulo de viscosidad (G'') no mostró esta clara diferencia entre ambas formulaciones. El análisis de varianza (ANOVA) llevado a cabo con los valores obtenidos a 1 Hz de frecuencia (tabla 6) mostró efectivamente un valor significativamente superior ($p < 0,05$) del módulo de elasticidad (y menor de G'') para la formulación control con 100% sémola de trigo duro (0% harina de chufa), lo que indica un mayor carácter sólido, es decir, con un mejor desarrollo de estructura en la pasta. Resultados similares se observaron en pasta hecha con arroz (Sozer, 2009) o con maíz (Larrosa et al., 2013), donde los valores del módulo de pérdidas (G'') fueron desde 5 hasta 10 veces menores que los valores del módulo de almacenamiento (G') y a medida que aumentaba la frecuencia, G'' era menor, mostrando un sistema que actuaba más elásticamente (Sozer, 2009). Este comportamiento elástico tipo gel es característico de un material altamente estructurado, donde el módulo de almacenamiento es siempre mayor que el módulo de pérdidas en todo el rango de frecuencia estudiado (Larrosa et al., 2013).

Tabla 6. Valores medios (desviaciones estándar) de los parámetros reológicos obtenidos para la pasta fresca obtenida con 100% sémola (0) y con un 40% de sustitución por harina de chufa (40).

Sustitución %	G' (Pa)	G'' (Pa)	Tan δ
0	99505 (13569) ^a	20270 (212) ^b	0,21 (0,13) ^b
40	65637 (6230) ^b	22930 (635) ^a	0,35 (0,03) ^a

Letras diferentes por columnas indican diferencias significativas al 95% de confianza

La dependencia de los módulos G' y G'' en la frecuencia angular se puede analizar a partir de los parámetros a y b obtenidos del ajuste de las curvas experimentales a las curvas potenciales (ecuaciones 1 y 2) resumidos en la Tabla 11 (comentada más adelante).

IV.1.3. ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA

Se ha comprobado con éxito que el análisis instrumental sirve para estimar las características texturales de la pasta que son reconocidas como importantes por los consumidores, y por lo tanto, que afectan a la aceptabilidad de dicho producto (Brennan y Tudorica, 2007). Estas características son la firmeza, la pegajosidad/adhesividad y la elasticidad. Una pasta cocinada de calidad se caracteriza por mantener una buena textura, ser resistente a la desintegración de la superficie y a la pegajosidad, y conservar una estructura firme o una consistencia al dente.

Para evaluar el efecto de la sustitución parcial de sémola de trigo por harina de chufa en los parámetros del TPA, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) tanto para la masa (pasta recién elaborada) como para la pasta cocida. Los valores medios obtenidos y la significancia estadística se muestran en las tablas 7 (masa) y 8 (pasta cocida).

Tabla 7. Valores medios (desviaciones estándar) de los parámetros mecánicos obtenidos en el ensayo TPA para la pasta fresca.

Sustitución (%)	Dureza (N)	Adhesividad (N·s)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad
0	205 (6) ^a	-1,2 (0,9) ^a	0,593 (0,012) ^a	0,38 (0,03) ^a	85 (8) ^a
10	87,932 (5,004) ^b	-7 (2) ^b	0,62 (0,05) ^a	0,2990 (0,0107) ^b	26,3 (0,9) ^b
20	76 (2) ^c	-7,1 (1,9) ^b	0,571 (0,019) ^a	0,270 (0,015) ^c	19,9 (0,9) ^c
30	76 (2) ^c	-6,9 (1,6) ^b	0,577 (0,018) ^a	0,247 (0,016) ^{cd}	20,1 (0,4) ^c
40	52,6 (1,4) ^d	-1,1 (0,6) ^a	0,59 (0,06) ^a	0,226 (0,008) ^d	11,9 (0,5) ^d

Letras diferentes por columnas indican diferencias significativas al 95% de confianza

Los resultados muestran el descenso significativo ($p < 0,05$) en la dureza de la masa con el aumento de harina de chufa en la formulación (si bien las muestras 20% y 30% no presentan diferencias entre sí), con una disminución mucho más acusada entre la formulación control (0%) y el primer nivel de sustitución analizado (10%). También se observó un descenso significativo en la cohesividad, con valores cada vez menores a medida que la presencia de harina de chufa es superior. Como consecuencia de estos efectos en las propiedades mencionadas, la gomosis (calculada a partir de ellas) presentó una tendencia similar. Estos resultados son coherentes con una menor estructuración de la masa al tener menor presencia de gluten como consecuencia de la sustitución parcial de sémola de trigo duro. La elasticidad no se vio afectada significativamente y la adhesividad aumentó significativamente excepto para el nivel de sustitución mayor (40%), con valores similares a la formulación control.

Tabla 8. Valores medios (desviaciones estándar) de los parámetros mecánicos obtenidos en el ensayo TPA para la pasta cocida.

Sustitución (%)	Dureza (N)	Adhesividad (N·s)	Elasticidad	Masticabilidad	Cohesividad
0	148 (3) ^a	-3,8 (1,8) ^a	0,98 (0,02) ^a	133 (55) ^a	0,918 (0,007) ^a
10	110 (3) ^c	-6 (2) ^b	0,988 (0,008) ^a	1,42 (0,07) ^e	0,0131 (0,0007) ^c
20	134,8 (1,9) ^b	-6,27 (0,5) ^{ab}	0,978 (0,005) ^a	120,1 (1,4) ^b	0,909 (0,005) ^b
30	93 (2) ^d	-3,19 (0,16) ^a	0,978 (0,007) ^a	81 (3) ^d	0,89 (0,03) ^{ab}
40	116 (12) ^c	-3,8 (0,9) ^a	0,94 (0,03) ^b	106,4 (0,8) ^c	0,88 (0,04) ^b

Letras diferentes por columnas indican diferencias significativas al 95% de confianza

La tendencia observada en la dureza (descenso), cohesividad (descenso) y elasticidad (sin cambios) de la pasta cocida es similar a la comentada para la masa, si bien la disminución de la dureza no es tan acusada entre las formulaciones control y 10% ni los cambios presentan un comportamiento progresivo con la mayor presencia de harina de chufa. La masticabilidad no presenta una tendencia clara con el nivel de sustitución por harina de chufa.

IV.2. OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE PASTA “FUENTE DE FIBRA” CON INCORPORACIÓN DE HIDROCOLOIDES

Tal y como se ha señalado en el apartado de materiales y métodos, la búsqueda de la combinación de hidrocoloides más adecuada para obtener una formulación de pasta compuesta enriquecida en fibra a base de sémola de trigo duro y harina de chufa con buenas características texturales se realizó empleando la metodología de superficie de respuesta.

El análisis de regresión múltiple se llevó a cabo para evaluar la significancia del efecto (lineal o cuadrático) de los diferentes hidrocoloides utilizados y sus interacciones en los parámetros analizados (humedad, actividad del agua, propiedades reológicas y perfil de textura). Dichos parámetros fueron medidos en pasta fresca recién elaborada y en pasta cocida. La ecuación que representa el modelo de regresión empleado es un polinomio de segundo orden (ecuación 4). En ella cada variable respuesta o parámetro analizado en este estudio (Y) se relaciona con una constante que no tiene en cuenta el efecto de los hidrocoloides (Y_0), y con los coeficientes de regresión β que dan peso a cada uno de los efectos evaluados (gomos CMC, GX y GG, efectos lineales, cuadráticos y sus interacciones). El efecto relativo de cada goma se pudo comparar a partir de los valores β obtenidos en la regresión, siendo los coeficientes R^2 los coeficientes de regresión alcanzados (en las Tablas 9 y 10 se muestran tanto los efectos significativos, $p < 0,05$, como los no significativos). Las representaciones de superficie de respuesta se han generado para las interacciones significativas encontradas de cada par de variables independientes (Figura 5) con el fin de poder visualizar mejor las relaciones entre cada par de gomos y una determinada variable respuesta.

$$Y = Y_0 + \beta_1 \cdot \text{CMC} + \beta_2 \cdot \text{GX} + \beta_3 \cdot \text{GG} + \beta_4 \cdot \text{CMC} \cdot \text{GX} + \beta_5 \cdot \text{GG} \cdot \text{GX} + \beta_6 \cdot \text{CMC} \cdot \text{GG} + \beta_7 \cdot \text{CMC} \cdot \text{CMC} + \beta_8 \cdot \text{GG} \cdot \text{GG} + \beta_9 \cdot \text{GX} \cdot \text{GX} \quad (\text{ec. 4})$$

Las Tablas 9 y 11 muestran que solamente algunos hidrocoloides y/o sus mezclas binarias influyen significativamente en algunos de los parámetros evaluados en la pasta fresca y cocida, siendo esta influencia diferente para cada uno de ellos.

En la Tabla 9 se muestra la significancia del efecto (lineal o cuadrático) de los diferentes hidrocoloides utilizados y de sus interacciones en los parámetros reológicos dinámicos, actividad del agua (a_w) y humedad (x_w) analizados en las muestras de pasta fresca obtenidas a partir de las diferentes formulaciones ensayadas.

Sólo se considerarán significativas aquellas relaciones cuyo $p < 0,05$ y que tengan un buen ajuste al modelo de regresión múltiple ($R^2 > 75\%$).

Tabla 9. Valores de estimación o constante y los parámetros β obtenidos del ajuste a los modelos de regresión lineal múltiple para describir la relación entre 10 variables independientes y los parámetros de las propiedades mecánicas y fundamentales, la actividad del agua y la humedad de la pasta fresca.

	D (N)	A (N·s)	E	C	G	G' (Pa)	G'' (Pa)	Tan δ	a_w	x_w
Constante	68,188	-7,336	0,609	0,261	14,007	68665,4	17515,4	0,288	0,964	0,272
CMC							12392,1			
GX										0,047
GG										
CMC*CMC										
GX*GX				0,233	35,244				-0,004	
GG*GG										
CMC*GX										
CMC*GG					13,366	101712				
GX*GG	129,656			-0,215				-0,121		
R² (%)	54,0013			65,515	89,781	49,096	31,819	33,204	36,588	29,749
R² (GL)	50,463			59,767	88,078	45,152	26,575	28,066	31,709	24,345
Valor P	0,0018			0,0017	0,0000	0,0036	0,0285	0,0246	0,0169	0,0355

D= dureza, A= adhesividad, E= elasticidad, C= cohesividad, G= gomosisidad.

Los coeficientes del modelo revelan que la presencia de CMC, GX y GG en las formulaciones, en el intervalo de concentraciones ensayadas, afecta de manera distinta a la pasta fresca, siendo significativo su efecto en pocos casos. Se ha encontrado una relación cuadrática significativa para la goma xantana ($\beta = 35,24$) en el caso de la gomosisidad ($R^2 = 89,78\%$) y también una relación significativa de la combinación de CMC y GG sobre este parámetro ($\beta = 13,37$). Dichas relaciones se pueden apreciar en las Figuras 5-a y 5-b, siendo el incremento en esta propiedad mecánica del 161% y del 61% al emplear, respectivamente, un 0,8 de GX o un 0,8 de CMC y de GG. En cambio, el efecto de la CMC no resulta apreciable cuando se usa individualmente. El resto de interacciones no resultan significativas, aunque se podría comentar el caso de la cohesividad ($R^2 = 65,5\%$) y de la dureza ($R^2 = 54\%$). El primero de estos parámetros también se vería influenciado por el efecto cuadrático de la goma xantana ($\beta = 0,233$) y la combinación de GX y GG pero en sentido negativo ($\beta = -0,215$). En la Figura 5-c vemos que a mayor concentración de goma xantana, mayor cohesividad de la masa, mientras que la GG no influye en esta característica y la combinación GX y GG “elimina” el efecto positivo de la GX, por lo que lo indicado sería utilizar ésta individualmente. En cuanto a la dureza, sólo influye la combinación de GX y GG ($\beta = 129,66$, $R^2 = 54\%$). En este caso, es posible apreciar en la figura 5-d que la combinación de ambas gomas tiene un efecto sinérgico sobre ésta. Esto podría ser debido a que, para una misma cantidad de agua añadida a la mezcla, la mayor capacidad para ligar agua por parte de estas gomas (especialmente en el caso de la goma xantana) supone un descenso en la movilidad molecular que se traduce en una mayor cohesividad y/o dureza, y por tanto más gomosa (más carácter semisólido). Larrosa et al. (2013) también observaron un efecto

sinérgico de la GX y la GG sobre las características texturales de la pasta sin gluten elaborada con harina de maíz. Para el parámetro reológico G' , se obtuvo un ajuste del 50%, viéndose influenciado positivamente por la combinación de CMC y GG (Figura 5-e).

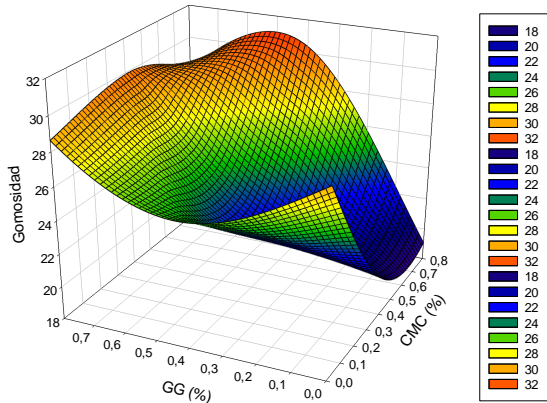


Figura 5-a

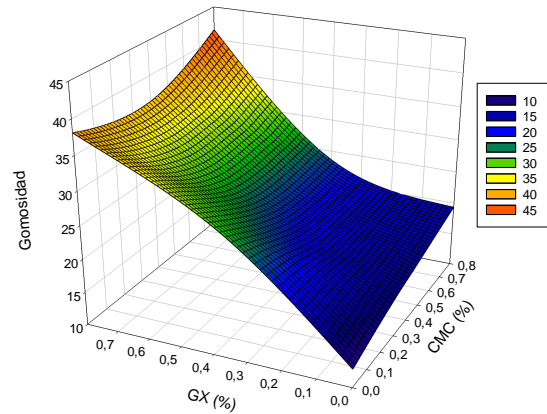


Figura 5-b

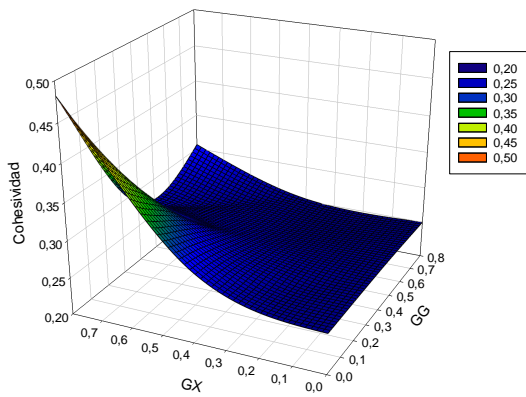


Figura 5-c

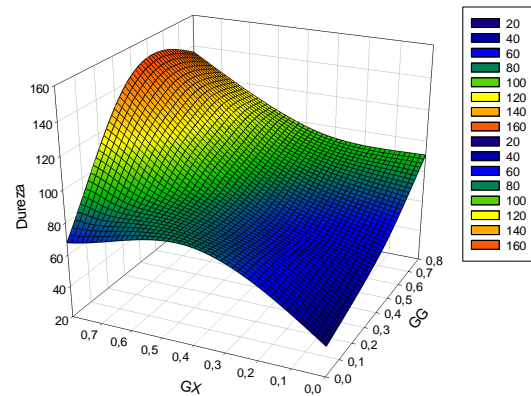


Figura 5-d

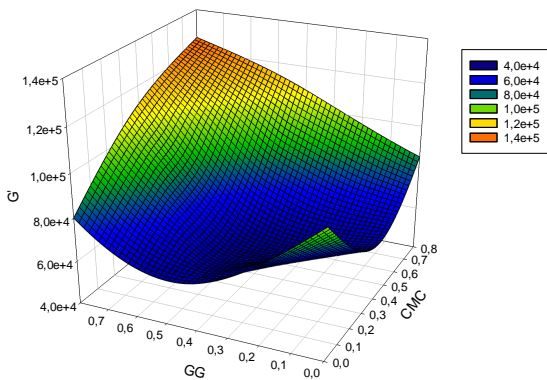


Figura 5-e

Figuras 5a-5e. Superficie de respuesta para los parámetros gomosidad (G), dureza (D), G' y cohesividad (C) en pasta fresca.

Teniendo en cuenta que el análisis de superficie de respuesta no ha proporcionado información relevante acerca de la combinación más adecuada de hidrocoloides para mejorar las características reológicas de la masa obtenida con incorporación de harina de chufa, en las figuras 6 y 7 se han representado los espectros mecánicos de los módulos de almacenamiento y

de pérdidas correspondientes a concentraciones crecientes de hidrocoloides (0,4%, 1,2% y 2% en peso), con el objetivo de esclarecer si su presencia afecta o no a dichas propiedades. Se eligieron aquellas formulaciones con mayor presencia de goma xantana y de carboximetilcelulosa, pues el análisis de superficie de respuesta reveló una relativa influencia de esta combinación en el parámetro G' . Se han incluido además la formulación control (100% sémola y 0% gomas) y la formulación con un 40% de sustitución por harina de chufa (0% gomas). Es posible observar que el empleo de un 1,2% de hidrocoloides (0,4% CMC+0,8% GG) permite aumentar el valor del módulo de elasticidad en toda la región viscoelástica lineal si lo comparamos con los valores obtenidos para la muestra con 40% de sustitución por harina de chufa. De hecho, dichos valores son incluso superiores a los registrados para la formulación control. Por tanto, el uso de estas gomas permite simular de alguna manera el papel que tiene el gluten en la estructura de la masa, y que ha disminuido al sustituir parcialmente la sémola de trigo duro.

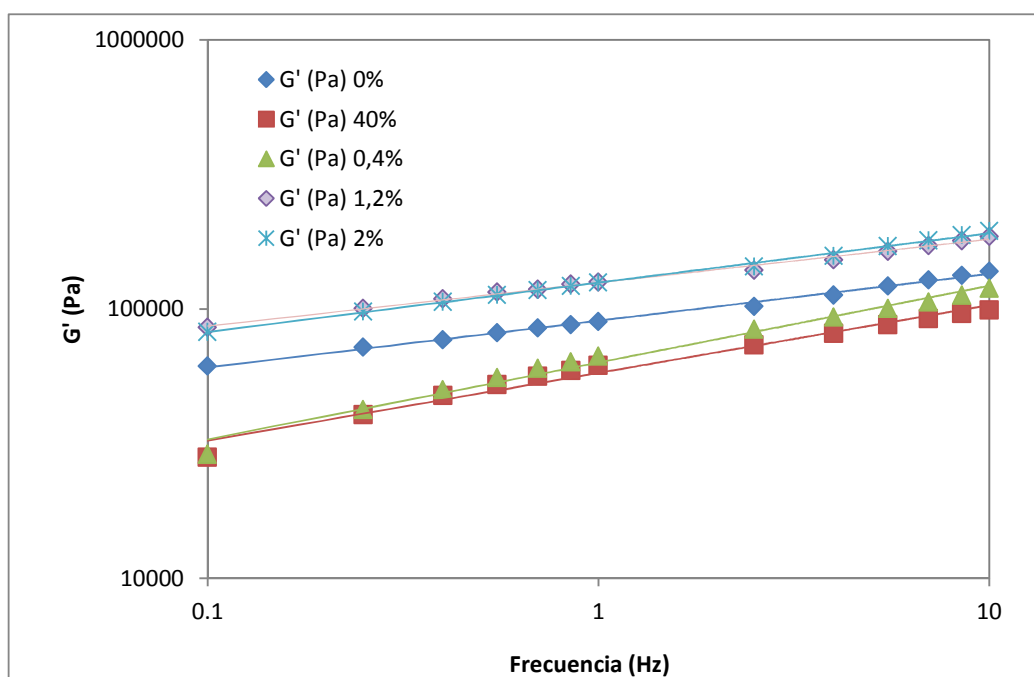


Figura 6. Representación del módulo G' para las formulaciones de masa (pasta cruda) elaboradas con el 0 y 40% de sustitución de sémola por harina de chufa (sin gomas) y con incorporación del 0,4, 1,2 y 2% de hidrocoloides (para un nivel de sustitución del 40%). Los símbolos son valores experimentales y las líneas representan la predicción con la ecuación (1).

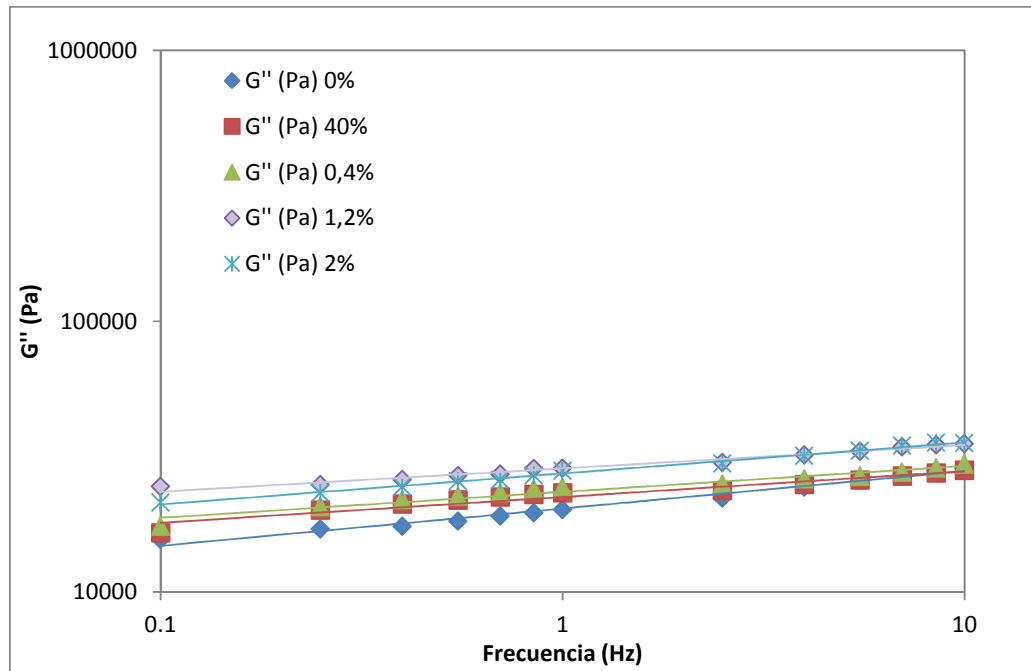


Figura 7. Representación del módulo G'' para las formulaciones de masa (pasta cruda) elaboradas con el 0 y 40% de sustitución de sémola por harina de chufa (sin gomas) y con incorporación del 0,4, 1,2 y 2% de hidrocoloides (para un nivel de sustitución del 40%). Los símbolos son valores experimentales y las líneas representan la predicción con la ecuación (2).

La dependencia de ambos módulos con la frecuencia angular puede describirse a partir de los parámetros obtenidos a partir de las ecuaciones 1 y 2 (Tabla 10). Efectivamente, es posible observar que las formulaciones con un valor del exponente a inferior son precisamente la formulación control con un 0% de harina de chufa (100% sémola) y la que incorpora un 1,2% de hidrocoloides, seguidas de la obtenida empleando un 2% de gomas. Es decir, en estos casos la masa parece estar más estructurada y cohesionada.

Tabla 10. Valores medios (desviación estándar) de los parámetros de la ecuación de potencia ajustada para masa (pasta cruda) con 0 y 40% de sustitución por harina de chufa y con incorporación creciente de hidrocoloides.

Sustitución (%)	Gomas (%)	$G'(\omega)=K' \cdot \omega^a$		$G''(\omega)=K'' \cdot \omega^b$	
		K' [Pa s ⁿ]	a	K'' [Pa s ⁿ]	b
0%	0%	101497 (15554) ^{bc}	0,179 (0,008) ^c	20684 (20684) ^c	0,127 (0,016) ^a
	0%	62244 (6414) ^d	0,24 (0,02) ^{ab}	22492 (595) ^c	0,086 (0,013) ^b
40%	0,4%	75749 (17656) ^{cd}	0,27 (0,02) ^a	25796 (3350) ^{bc}	0,100 (0,006) ^{ab}
	1,2%	121215 (5742) ^{ab}	0,167 (0,009) ^c	31445 (4013) ^a	0,07 (0,02) ^b
	2%	127929 (3668) ^a	0,20 (0,02) ^{bc}	279814(805) ^{ab}	0,13 (0,03) ^a

Letras diferentes por columnas indican diferencias significativas al 95% de confianza. Los valores de R^2 del ajuste están comprendidos entre 0,992 y 0,951.

En cuanto al módulo de pérdidas (G''), vuelven a evidenciarse los valores claramente inferiores al módulo de almacenamiento en todo el espectro de frecuencias, y con unos valores del exponente b muy próximos a 0 en todos los casos. Por tanto, queda patente la existencia de una estructura tipo gel (carácter semisólido) de las formulaciones de pasta estudiadas.

El efecto de las gomas sobre la respuesta mecánica de la pasta cocida es algo diferente y se puede observar en la Tabla 10. Únicamente se han encontrado efectos cuadráticos de GX sobre la elasticidad y de la GG sobre la actividad de agua, si bien los valores de los coeficientes de regresión (R^2) y de los coeficientes b son muy bajos, por lo que se puede considerar que el

IV. Resultados y discusión

uso de los hidrocoloides estudiados en las concentraciones ensayadas no influyen en la respuesta mecánica de la pasta cocida.

Tabla 11. Valores de estimación o constante y los parámetros β obtenidos del ajuste a los modelos de regresión lineal múltiple para describir la relación entre 10 variables independientes y los parámetros de TPA, la actividad del agua y la humedad para la pasta cocida.

	D (N)	A (N·s)	E	C	M	a_w	x_w
Constante	106,96	-7,849	0,972	0,863	86,68	0,992	0,671
CMC							
GX							
GG							
CMC*CMC							
GX*GX			-0,047				
GG*GG						0,004	
CMC*GX							
CMC*GG							
GX*GG							
R² (%)			29,081			37,696	
R² (GL)			23,626			32,903	
Valor P			0,0380			0,0149	

D= dureza, A= adhesividad, E= elasticidad, C= cohesividad, M= masticabilidad

V. CONCLUSIONES



V. CONCLUSIONES

1. Todas las formulaciones ensayadas, con diferente grado de incorporación de harina de chufa y/o de hidrocoloides, presentaron valores del módulo de almacenamiento muy superiores al módulo de pérdidas en todo el rango de frecuencia estudiado, comportamiento característico de un material elástico tipo gel bien estructurado.
2. La dureza, la cohesividad y la gomosidad de la masa disminuyen a medida que aumenta el nivel de sustitución de sémola de trigo por harina de chufa, evidenciando la menor estructuración de la pasta como consecuencia de una menor presencia de gluten.
3. El análisis de superficie de respuesta reveló un aumento significativo e importante de la gomosidad de la masa (pasta cruda) con el empleo de goma xantana o de la combinación de carboximetilcelulosa y goma garrofín (incrementos del 161 y del 61%, respectivamente, con un 0,8% de estas gomas).
4. La goma xantana también afecta positivamente a la cohesividad (empleada individualmente) y a la dureza (en combinación con la goma garrofín) de la pasta cruda, como resultado de un descenso en la movilidad molecular por su capacidad para ligar agua.
5. Ni el comportamiento mecánico ni reológico de la pasta cocida se vieron influenciados significativamente por la presencia de los hidrocoloides estudiados en la formulación.
6. El empleo de un 1,2% de gomas en la formulación (0,4% CMC+0,8% GG) permite simular el papel que tiene el gluten en la estructuración de la masa (mayores valores del módulo G'), y que ha disminuido al sustituir parcialmente la sémola de trigo duro por un 40% de harina de chufa.

VI. BIBLIOGRAFÍA



VI. BIBLIOGRAFÍA

AHMED, J (2015). Effect of barley β -glucan concentrate on oscillatory and creep behavior of composite wheat flour dough. *Journal of Food Engineering* 152 (2015) 85-94.

AHMED, J; ALMUSALLAM, A; AL-SALMAN, F; ABDULRAHMAN, M. (2013). Rheological properties of water insoluble date fiber incorporated wheat flour dough. *LWT-Food Science and Technology* 51 (2013) 409-416

Boletín Oficial Del Estado (BOE).

<http://www.boe.es/>

BRENNAN, C.S.; TUDORICA, C.M. (2008). Evaluation of potential mechanisms by which dietary fiber additions reduce the predicted glycaemic index of fresh pastas. *International Journal of Food Science and Technology* 43, 2151-2162.

CALLEJO GONZÁLEZ, M.J. (2002). *Industrias de cereales y derivados*. Ed. Mundi-Prensa, 337.

CUBERO, N.; MONFERRER, A.; VILLALBA, J. (2002). *Aditivos alimentarios*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 240.

CONSEJO REGULADOR DE DENOMINACIÓN DE ORIGEN DE VALENCIA 2000, consultado el 28 de mayo del 2015.

<http://www.chufadevalencia.org/ver/14/Cultivo.html>

EPSA Aditivos Alimentarios. Tríptico Hidrocoloides. Consultado el 21 de mayo del 2014.

http://www.aditivosalimentarios.es/php_back/documentos2/archivos/TRIPTICO%20HIDROCOLOIDES%20EN%20A4%20WEB%20EPSA.pdf

EMPRESA TIGERNUTS.

http://www.tigernuts.es/empresa_tigernuts_traders.html

GARCÍA, P. Y VELASCO, C. (2007). Evolución en el conocimiento de la fibra. *Nutrición hospitalaria*, 22 (Supl. 2): 20-25.

MARTÍNEZ MONZÓ, J.; GARCÍA SEGOVIA, P. (2001). *Nutrición humana*. Ed. Universitat Politècnica de Valencia. Valencia: 384.

LARROSA, V; LORENZO, G; ZARITZKY, N; CALIFANO, A. (2013). Optimization of rheological properties of gluten-free pasta dough using mixture design. *Journal of Cereal Science* 57 (2013) 520-526.

MORELL, J; BARBER, S. (1983). Chufa y horchata, características físicas, químicas y nutritivas. C.S.I.C. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Valencia, 84 pp.

REAL DECRETO 2181/75 de 12/09/75. Por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Elaboración, Circulación y Comercio de Pastas Alimentarias. Define las Pastas alimenticias, clasificación (dentro de esta definición de pastas frescas). BOE 13/09/75.

REAL DECRETO 1771/76 de 02/07/76. Por el que se modifican algunos de los artículos y epígrafes de determinadas Reglamentaciones Técnico-Sanitarias y Normas alimentarias

específicas. Modifica los artículos cuatro y veinte de la Reglamentación Técnico Sanitaria de los Agentes Aromáticos para la alimentación. BOE 28/07/76.

REAL DECRETO 2811/83 de 13/10/83. Por el que se modifica la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Elaboración, Circulación y Comercio de Pastas Alimenticias. Aclarar el contenido del apartado 10 del artículo 15: Fecha de fabricación y periodo máximo de consumo para las pastas rellenas y las frescas. Será necesaria además la mención "conservación en frío" en las pastas frescas, ya sean simples, compuestas o rellenas. BOE 11/11/83.

REAL DECRETO 1286/1984 de 23/05/1984. Por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de las harinas y sémolas de trigo y otros productos de su molienda para consumo humano. B.O.E. 06/06/1984.

REAL DECRETO 1093/87 de 19/06/87. Por el que se modifican los métodos de análisis contenido en el anexo de la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Elaboración, Circulación y Comercio de Pastas Alimenticias aprobada por el Decreto 2181/75 de 12 de septiembre. BOE 08/09/87.

REAL DECRETO 1534/91 de 12/09/91. Por el que se modifican determinados artículos de la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, Circulación y Comercio de Pastas Alimenticias. Los epígrafes referentes a la acidez de la grasa. Los apartados «Pastas Rellenas», «Pastas Alimenticias» y «Pastas Frescas». BOE 30/10/91.

REGLAMENTO n° 1924/2006 del Parlamento Europeo.

SOZER, N (2009). Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums. Food Hydrocolloids 23 (2009) 849-855.

WITCZAK, M; JUSZCZAK, L; ZIOBRO, R; KORUS, J (2012). Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part I: Rheological and thermal properties of gluten-free dough. Food Hydrocolloids 28 (2012) 353-360.

VII. ANEXOS



VII. ANEXOS

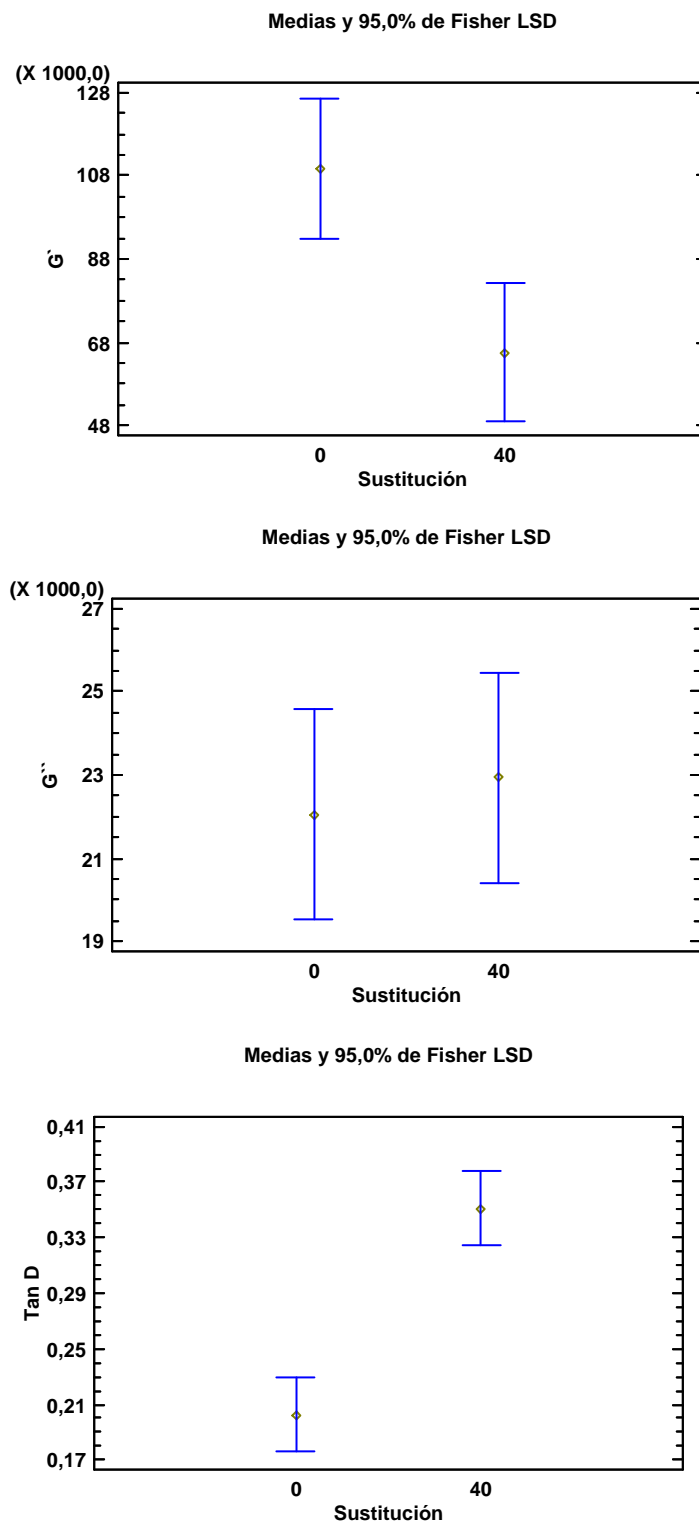


Figura VII.1. Medias e intervalos LSD obtenidos en el análisis ANOVA para los parámetros G' , G'' y $\tan \delta$ pertenecientes a la pasta cruda para las formulaciones de sustitución del 0% y 40% de sémola.

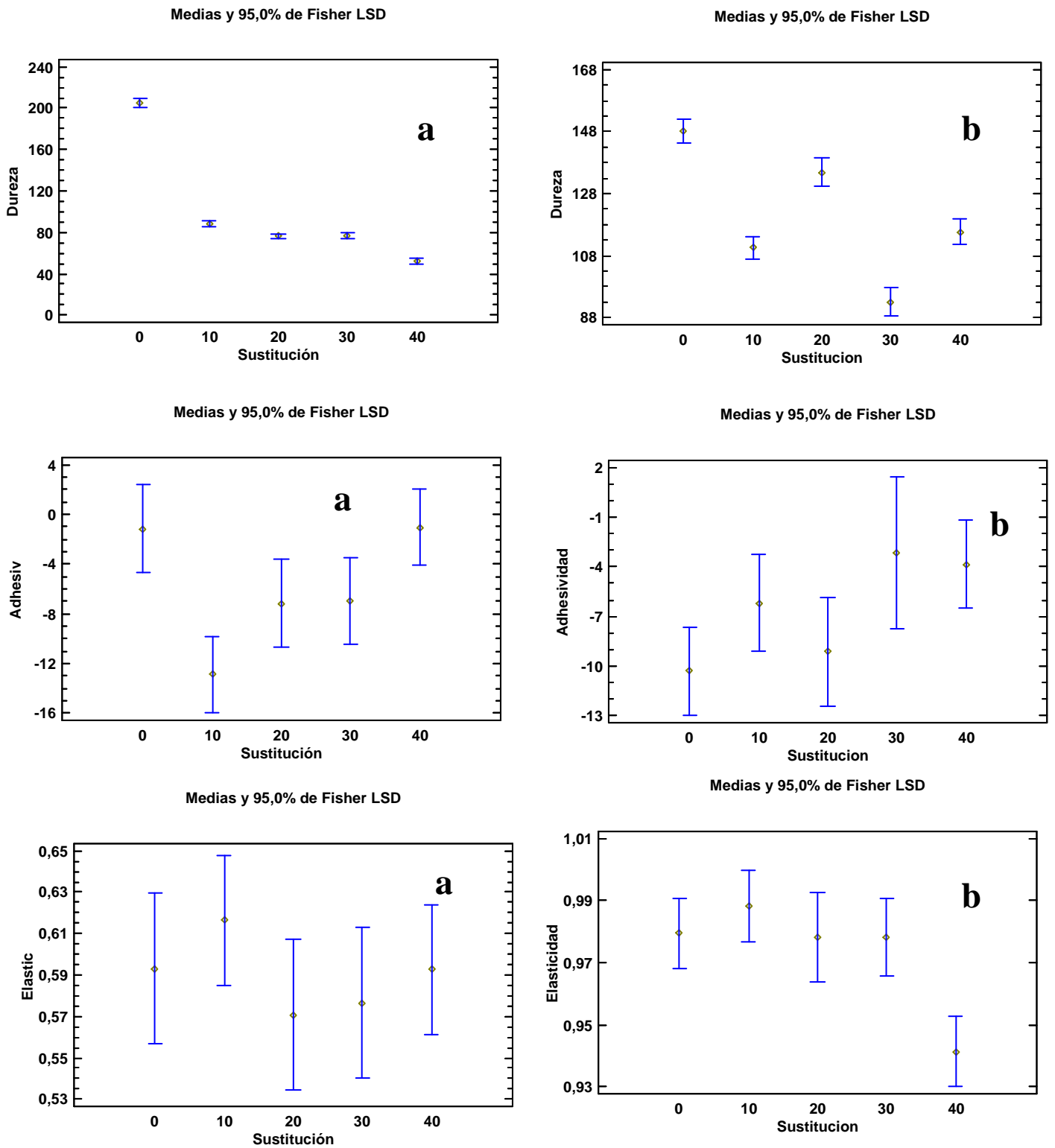


Figura VII.2. Medias e intervalos LSD obtenidos en el análisis ANOVA para los parámetros de TPA para pasta cruda (a) y para pasta cocida (b).

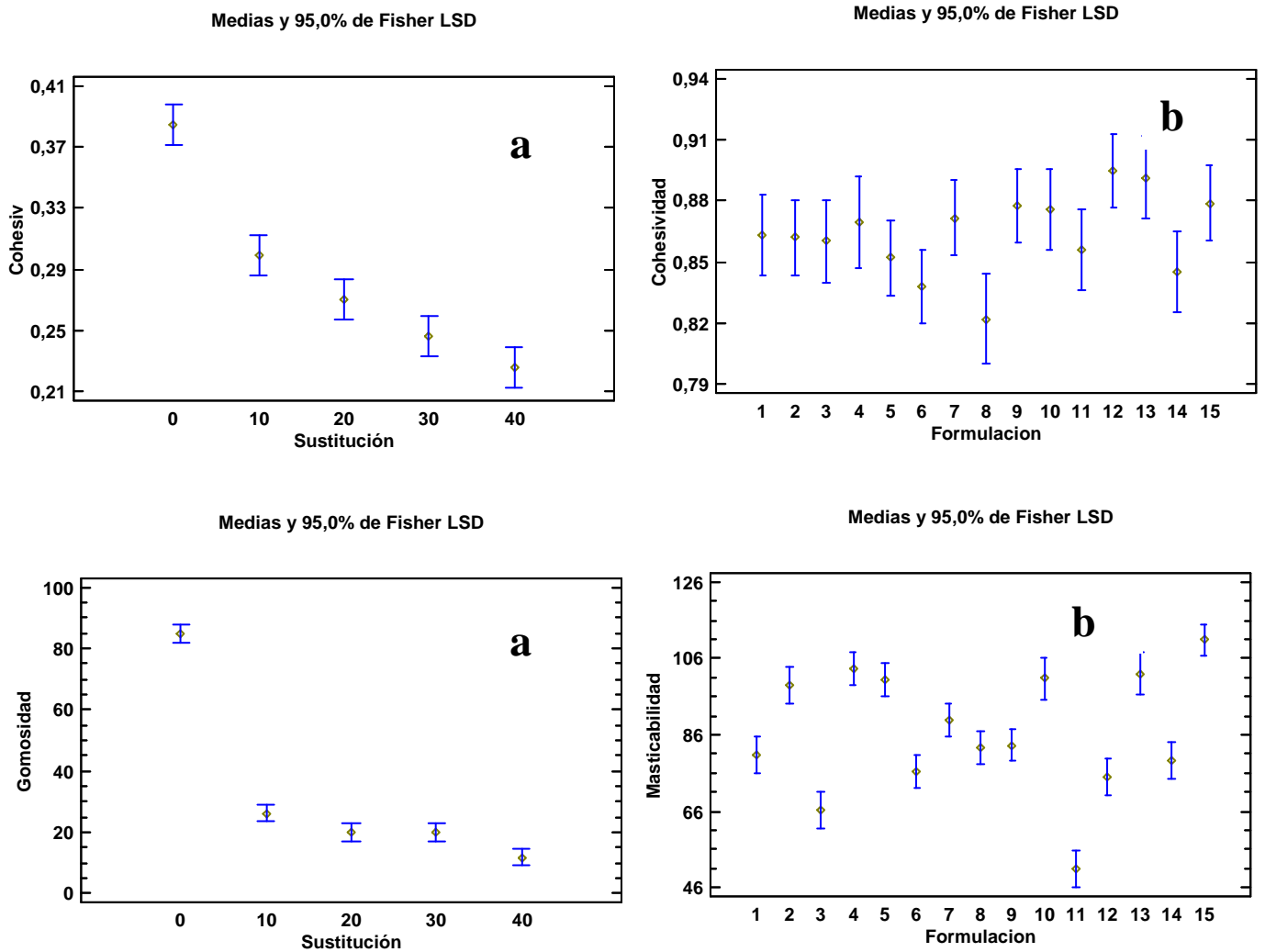


Figura VII.2 (cont.). Medias e intervalos LSD obtenidos en el análisis ANOVA para los parámetros de TPA para pasta cruda (a) y para pasta cocida (b).

VII. Anexos

Tabla VII.1. Resumen de las medias y sus desviaciones de los parámetros de TPA y de las propiedades reológicas fundamentales de la pasta cruda.

Formulación	Dureza (N)	Adhesividad (g·s)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	G' (Pa)	G'' (Pa)	Tan δ
1	161 (2) ^a	-1,2 (0,6) ^{ab}	0,56 (0,02) ^d	0,257 (0,006) ^f	41 (2) ^a	123590 (36359) ^{ab}	27265 (8422) ^{abc}	0,220 (0,003) ^d
2	125,3 (0,3) ^c	-2,7 (0,2) ^{abcd}	0,612 (0,012) ^b	0,31 (0,012) ^b	37,4 (1,3) ^b	82965 (3345) ^{defg}	19395 (516) ^{cde}	0,234 (0,003) ^d
3	91 (3) ^f	-5,1 (1,3) ^{de}	0,57 (0,05) ^{bcd}	0,25 (0,04) ^{fg}	20,7 (0,2) ^e	122950 (4031) ^{ab}	33035 (6244) ^a	0,27 (0,06) ^{abcd}
4	71,2 (1,8) ⁱ	-1,4 (0,6) ^{ab}	0,56 (0,03) ^{cd}	0,261 (0,006) ^f	18,5 (0,8) ^g	94085 (6343) ^{cde}	27500 (3635) ^{abc}	0,292 (0,019) ^{abcd}
5	82,28 (1,07) ^g	-0,84 (0,15) ^{ab}	0,62 (0,06) ^b	0,262 (0,006) ^f	21,8 (0,7) ^e	79170 (7934) ^{efg}	24665 (4434) ^{bc}	0,32 (0,09) ^{abc}
6	135,9 (1,9) ^b	-1,4 (0,4) ^{ab}	0,61 (0,04) ^{bc}	0,306 (0,006) ^b	41,6 (0,9) ^a	108800 (7778) ^{abc}	25560 (1994) ^{abc}	0,24 (0,04) ^d
7	80,8 (1,3) ^g	-6,2 (1,5) ^e	0,61 (0,03) ^b	0,2703 (0,0109) ^{ef}	22 (2) ^e	67773 (6079) ^{fg}	16743 (1550) ^{de}	0,2470 (0,0009) ^{cd}
8	96,0 (0,7) ^e	-1,6 (0,4) ^{abc}	0,624 (0,008) ^b	0,305 (0,005) ^{bc}	28,9 (0,6) ^d	98475 (15733) ^{cde}	23045 (2510) ^{bcd}	0,235 (0,012) ^d
9	42,8 (0,5) ^k	-3,8 (0,6) ^{bcd}	0,59 (0,03) ^{bcd}	0,247 (0,004) ^{fg}	11,6 (0,8) ^h	40955 (1025) ⁱ	11670 (255) ^e	0,2849 (0,0009) ^{abcd}
10	67,8 (0,9) ^j	-70 (5) ^f	0,87 (0,04) ^a	0,482 (0,014) ^a	33,5 (1,3) ^c	62286,7 (1605) ^{gh}	16517 (508) ^{de}	0,265 (0,004) ^{bcd}
11	66,1 (0,7) ^j	-2,6 (0,5) ^{abcd}	0,62 (0,02) ^b	0,284 (0,006) ^{cd}	19,1 (0,8) ^g	85370 (4087) ^{def}	28415 (9949) ^{ab}	0,3304 (0,1007) ^{ab}
12	38,9 (1,8) ^l	-5 (2) ^{de}	0,59 (0,04) ^{bcd}	0,254 (0,009) ^f	9,86 (0,12) ⁱ	67490 (679) ^{fg}	23105 (1803) ^{bcd}	0,3425 (0,0302) ^a
13	75,9 (1,3) ^h	-4,9 (0,7) ^{cde}	0,5969 (0,0007) ^{bcd}	0,274 (0,004) ^{ef}	20,6 (0,6) ^{ef}	103223 (11094) ^{bcd}	24400 (2666) ^{bc}	0,236 (0,005) ^d
14	118,8 (1,8) ^d	-0,9 (0,8) ^a	0,56 (0,03) ^{cd}	0,2316 (0,0099) ^g	28,1 (1,8) ^d	126750 (1485) ^a	28100 (226) ^{ab}	0,2217 (0,0008) ^d
15	80,21 (1,19) ^g	-2,4 (1,5) ^{abcd}	0,55 (0,03) ^{cd}	0,2649 (0,0019) ^{ef}	21,5 (0,4) ^e	42755 (4971) ^{hi}	12625 (1336) ^e	0,295 (0,003) ^{abcd}

Tabla VII.2. Resumen de las medias y sus desviaciones de los parámetros de TPA de la pasta cocida.

Formulación	Dureza (N)	Adhesividad (g·s)	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad
1	93 (9) ^f	-8,2 (1,3) ^{cde}	0,974 (0,014) ^{ab}	0,86 (0,02) ^{abcde}	81 (7) ^{de}
2	116 (4) ^{bc}	-9,2 (0,5) ^{de}	0,97 (0,02) ^{ab}	0,862 (0,016) ^{abcde}	99 (5) ^{bc}
3	83 (4) ^g	-8,4 (1,7) ^{de}	0,976 (0,014) ^{ab}	0,860 (0,013) ^{abcde}	66,2 (1,5) ^f
4	124 (2) ^{ab}	-16,7 (1,6) ^f	0,967 (0,015) ^{ab}	0,869 (0,013) ^{abcd}	103 (4) ^{ab}
5	123 (4) ^{ab}	-19,0 (1,3) ^f	0,966 (0,009) ^{ab}	0,852 (0,018) ^{cde}	100 (3) ^b
6	104 (2) ^d	-7,35 (1,16) ^{cd}	0,93 (0,02) ^{cde}	0,84 (0,03) ^{de}	76 (5) ^e
7	110 (6) ^{cd}	-9,3 (1,9) ^{de}	0,97 (0,03) ^{ab}	0,872 (0,015) ^{abcde}	90 (7) ^{cd}
8	101,9 (0,9) ^{def}	-6,00 (1,09) ^{bc}	0,983 (0,006) ^a	0,822 (0,002) ^e	83 (5) ^{de}
9	103 (2) ^{de}	-4,49 (1,07) ^{ab}	0,96 (0,02) ^{abc}	0,88 (0,04) ^{abc}	83 (6) ^{de}
10	121 (6) ^{ab}	-4,0 (0,7) ^{ab}	0,986 (0,017) ^a	0,88 (0,06) ^{abcd}	101 (7) ^b
11	72 (9) ^h	-4,1 (1,6) ^{ab}	0,93 (0,05) ^{de}	0,86 (0,06) ^{bcde}	51 (9) ^g
12	93,5 (0,3) ^{ef}	-3 (2) ^a	0,959 (0,009) ^{abcde}	0,89 (0,05) ^a	75 (6) ^{ef}
13	128 (13) ^a	-4 (2) ^{ab}	0,91 (0,06) ^e	0,891 (0,018) ^{ab}	102 (13) ^{ab}
14	103 (9) ^{de}	-5 (2) ^b	0,94 (0,03) ^{bcd}	0,84 (0,03) ^{cde}	79 (12) ^e
15	129 (10) ^a	-9 (2) ^e	0,98 (0,02) ^{ab}	0,88 (0,02) ^{abc}	111 (8) ^a